This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Harvard University

LIBRARY OF THE

CHEMICAL DEPARTMENT

SCIENCE CENTER LIBRARY

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

19765. PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55.

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

PUBLIÉ PAR LES SOINS

DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES,

AVEC L'AUTORISATION

DU MINISTRE DE LA GUERRE.

TOME SIXIÈME.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1893

(Tous droits réservés.)

Sci 1380.96
Chem Lab

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

DICTIONNAIRE
DES EXPLOSIFS;

PAR

M. le lieutenant-colonel J.-P. CUNDILL,
de l'artillerie royale anglaise, inspecteur des explosifs.

(TRADUCTION.— SUITE ET FIN) (1).

H

430. Hafenegger (Poudres). Composition : III.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.
Chlorate de potasse.....	9 à 6	2	4	4	1	11	1 parties
Soufre.....	$\frac{1}{4}$ à 1	»	1 (ou sucre)	$\frac{1}{4}$	»	$\frac{1}{4}$	»
Charbon de bois.....	$\frac{1}{4}$ à 4	»	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	»	$\frac{1}{4}$	1
Prussiate jaune de potasse..	»	1	1	»	»	»	»
Sucre.....	»	1	1 (ou soufre)	4	1	»	»

On recommande d'employer avec ces poudres un liquide à inflammation spontanée, consistant en une solution de 1 ou 2 parties de *phosphore* dans 2 parties de *sulfure de carbone;* le temps qui doit s'écouler avant que l'explosion se produise est réglé par le degré de saturation de la poudre avec le liquide; le délai moyen est de $\frac{1}{2}$ heure environ. On a proposé également un simple mélange de *chlorate de potasse* avec ce liquide [Ba **2865** 17.9.68; — D..617].

Le danger et l'incertitude de ces théories sont évidents.

(1) *A Dictionary of Explosives,* by Major J.-P. CUNDILL, Royal Artillery; Chatham, Mackay and C°, 1889.

Voir *Mém. poudr. salp. :* **5** 235.

III. VI. 431. **Hahn** a proposé la composition suivante, comme amorce pour le fusil à aiguille :

Chlorate de potasse.....	20	parties
Acide picrique.....	5	»
Phosphore amorphe.....	5	»
Trisulfure d'antimoine.....	1	»

Le tout est transformé en pâte avec de l'*eau* et de la *gomme* [Ba **961** 30.3.67].

III. 432. **Hahn (Poudre)**. Composition :

Chlorate de potasse.....	367,5	parties
Trisulfure d'antimoine.....	168,3	»
Blanc de baleine.....	46,0	»
Charbon de bois.....	18,0	»

Le chlorate de potasse ne doit être ajouté qu'au moment de l'emploi, en opérant le mélange à l'aide de tamis. Le blanc de baleine aurait pour effet de préserver contre l'explosion par frottement [Ba **960** 30.3.67; — D. 617].

III. 433. **Hall (Poudre)**. Cette poudre se compose de :

Chlorate de potasse	47	parties	
Ferrocyanure de potassium.....	38	»	
Soufre (ou autre corps équivalent)..	5	»	(environ)

Les substances sont pulvérisées et mélangées dans de l'eau pure, ou additionnée d'acide azotique. Après l'avoir évaporé, on ajoute au mélange 10 parties de *caoutchouc,* quelquefois légèrement imprégné de *sulfure de carbone*. Le tout est mélangé, comprimé et grené [Ba **1062** 28. 4.63].

II. *434. **Haloxyline**. Cet explosif, proposé par *Anders et Fehleisen,* se compose de :

Salpêtre.....	75	parties
Sciure de bois.....	15	»
Charbon.....	$8\frac{1}{3}$	»
Prussiate rouge de potasse.....	$1\frac{2}{3}$	»

Cette poudre est fabriquée en Autriche.

Une variété fabriquée en Hongrie contient du *nitrate de soude* [D. 602].

435. **Haloxyline**. Voir *Bleckmann*.

436. **Hannan** a proposé un mélange de *prussiate jaune* ou *rouge*, de *nitrate* et de *chlorate de potasse* avec du *charbon animal* ou *végétal*. On ajoute de la *paraffine*, ou une autre *substance huileuse* ou *graisseuse*, ou bien de la *gomme* comme matière agglomérante [Ba **4846** 12.10.82, **5323** 8.11.82]. III. VIII.

Dans la suite, on a ajouté de l'*oxyde de fer* afin d'activer et de localiser l'explosion [Ba **5986** 15.12.82; — Bf **152460** 5.12.82].

*437. **Hardingham** a fait breveter l'emploi dans les cartouches de mine d'un liquide non inflammable (tel que le *gaz ammoniac* ou le *gaz acide carbonique liquéfiés*) ou d'un liquide inflammable (tel que l'*alcool*, l'*éther* ou la *benzine*) en combinaison avec la *poudre*, la *dynamite* ou d'autres agents explosibles [Bf **164996** 25.10.84]. VIII.

*438. **Hardy (Poudres)**. Compositions : II.

	000.	00.	0.
Nitrate de soude.....	46	78,58	76,66
Nitrate de potasse	21	18,20	19,83
Soufre.....	35	10,5	13,00
Charbon.....	15	15,0	17,00
Sucre et tartre.....	2,65	6,3	2,80
Eau.....	0,35	1,60	0,71

[O. G.].

439. **Harrison (Poudre)**. Composition : II.

Saccharum (matière saccharine)....	50	parties
Salpêtre.....	48	»
Lycopode.....	2	»

[Ba **1786** 24.7.60].

440. **Harrison (Poudres)**. Se composent de mélanges de *substances saccharines* avec du *charbon*, du *soufre*, du *lycopode* et du *chlorate de potasse*. III. VIII

Les proportions indiquées sont :

Chlorate de potasse...	7	parties	ou, pour le tir à la carabine,		11	parties.
Amidon.....	1	»	»	»	1	»
Charbon.....	1	»	»	»	1	»
Soufre.....	1	»	»	»	2	»
Lycopode.....	»	»	»	»	$\frac{1}{4}$	»
Houille.....	»	»	»	»	1	»
Suie de charbon.....	»	»	»	»	$\frac{1}{2}$	»

[Ba **2642** 29.10.60].

Des brevets ultérieurs donnent la composition suivante :

Chlorate de potasse....	56	parties	12	parties	(ou chlorate de soude)
Ferrocyanure de potassium.....	28	»	4	»	
Amidon.....	4	»	2	»	
Soufre.....	7	»	»	»	
Charbon.....	5	»	1	»	
Nitrate de potasse.....	»	»	6	»	(ou 2 $\frac{1}{2}$ part. de houille).

[Ba **2223** 6.9.61, **305** 5.2.62].

III. VII. *441. **Hart** a proposé un explosif formé de *chlorate de potasse* granulé et imprégné d'une *solution saccharine* ou d'un autre *liquide hydrocarburé* convenablement choisi [Ba **9164** 23.6.88].

*442. **Harvey**. Voir *Curtis et Harvey*.

443. **Heath**. Voir *Grisou* (*Explosifs pour mines à*).

*444. **Hebler**. Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

IV. 445. **Hécla** (**Poudre**). Variété américaine de *dynamite à la lignine,* qui se fabrique en 7 espèces, contenant de 75 à 20 pour 100 de *nitroglycérine* additionnée de *nitrate de soude.*

446. **Heick**. Voir *Thunder Powder*.

*447. **Héliophanite**. Voir *Panclastite.*

VII. 448. **Hellhoffite**. Mélange de *pétrole nitré* ou d'*huiles de*

goudron nitrées avec de l'*acide nitrique*. Une variété d'hellhoffite, proposée par *Grüson*, a été essayée comme charge pour les projectiles creux ; elle se compose de *métabinitrobenzol* ($C^{12}H^4.2AzO^4$) et d'*acide nitrique*. Les deux substances sont placées dans le projectile en deux réceptacles séparés, et elles se mélangent automatiquement soit pendant le trajet du projectile, soit au moment où il touche à l'obstacle, suivant les cas [Ba **1315** 23.10.79, **1285-1287** 27.3.80, **2775** 7.7.80 ; — Bf **137644** 7.7.80, 20.8.81].

La composition serait la suivante (hellhoffite pour mines) :

Binitrobenzine.....	1 partie	pour 1 ½	partie d'acide nitrique
Mononitrobenzine...	1 »	2 ½	»

*449. **Hengst** a fait breveter, sous le nom d'*hengstite*, pour la fabrication d'une poudre sans flamme, sans fumée, sans odeur et sans crassement, l'emploi : 1° du *permanganate de potasse* pour oxyder la *pulpe de paille* macérée, traitée ensuite dans un bain de carbonate de potasse ; 2° d'une *substance gélatineuse* obtenue en faisant bouillir de la *graine de lin* avec addition d'une petite quantité de *dextrine*, pour agglomérer et mettre en pâte la matière ; 3° d'une solution préparée en dissolvant dans de l'*éther sulfurique* la poudre ou le résidu provenant du criblage des grains, laquelle solution sert à enduire les grains d'une enveloppe imperméable [Bf **194803** 17.12.88 ; — Ba **13656** 21.9.88]. VIII.

On obtient une substance fibreuse fine, granulée lorsqu'elle s'emploie pour les usages militaires, et comprimée lorsqu'elle est destinée à être employée dans les mines.

*450. **Hengstite**. Voir *Hengst*.

451. **Hérakline**. Cet explosif se compose d'*acide picrique*, de *nitrate de potasse*, de *nitrate de soude*, de *soufre* et de *sciure* (de *chêne* ou d'un autre *bois dur*). On le prépare de la manière suivante : dans 36 parties d'eau bouillante on fait dissoudre la moitié de l'acide picrique et du salpêtre, et l'on imprègne de cette solution 15 parties de sciure de bois. On dessèche la sciure de bois ainsi imprégnée, et l'on ajoute à 10 parties 17,5 parties de VI.

nitrate de potasse, autant de nitrate de soude et 7,5 de soufre. Toutes les substances sont finement pulvérisées. On peut faire avec la même composition des bâtons et des tablettes, en la traitant à l'état humide [Ba **4155** 1.12.75].

IV. **452. Hercule (Poudre).** Sorte de dynamite américaine contenant de 75 à 20 pour 100 de *nitroglycérine*. Elle comprend 10 variétés, dont 2 ont les compositions suivantes :

	N° 1.	N° 2.
Carbonate de magnésie.....	20,85	10,00
Nitrate de potasse.....	2,10	31,00
Chlorate de potasse.....	1,05	3,34
Sucre blanc.....	1,00	15,66
Nitroglycérine.....	75,00	40,00

[T. 103].

Certaines variétés de cette poudre se composent de *pulpe de bois,* de *nitrate de soude,* de *carbonate de magnésie* et de *nitroglycérine.* Une autre variété est appelée *poudre Hercule extra n°* 1 et est identique à la *nitromagnite;* elle se compose de 80 pour 100 de *nitroglycérine* pour 20 de *magnésie.*

IV. V. ***453. Heusschen** a fait breveter, sous le nom de *polynitrocellulose,* une combinaison qui serait le résultat de la première réaction de décomposition ayant lieu à une température s'élevant progressivement, entre les sulfates, les nitrates et la glycérine, ou tout autre produit contenant la cellulose, en donnant lieu à la formation de la série des celluloses nitrées.

Les proportions seraient les suivantes :

Nitrate de potasse.....	65	à 93
Soufre.....	12	
Noir de fumée.....	3	
Tannée.....	20	à 25
Sulfate de fer.....	1,39	à 27,8
Glycérine.....	0,92	à 1,84

[Bf **157728** 25.9.83, 27.12.83].

IV. ***454. Heusschen** a fait breveter, sous le nom de *benzogly-*

céronitre, la production, dans le trou de mine et sous haute température, de la *nitroglycérine* et de la *nitrobenzine* par la combinaison de l'*acide sulfurique* hydraté, mélangé à un *sulfate,* à l'*azotate de soude* ou de *potasse,* à la *glycérine* et à l'*huile de houille* [Bf **182050** 8.3.87].

455. Heusschen. Voir *Glycéronitre.*

***456. Hexagonale (Poudre)**. Poudre moulée fabriquée dès 1872 en Amérique par *Dupont de Nemours* pour le tir des canons de gros calibre [D. 362]. I.

457. Hill (Poudre). Se compose d'un mélange de *nitroglycérine* et d'une poudre siliceuse qui s'obtient en précipitant une solution de *silicates.* IV.

***458. Himley** mélange 45 parties de *chlorate de potasse* avec 35 parties de *nitre* et 20 parties de *goudron de houille.* Le goudron est dissous dans de l'*éther de pétrole,* qui s'évapore. Cet explosif est fabriqué en Russie [O. G.]. III.

459. Himly a proposé une poudre où le charbon et le soufre qui entrent dans la composition de la *poudre ordinaire* sont remplacés par des *hydrocarbures* précipités dans des solutions de *naphte.* La poudre ainsi préparée serait tout à fait insensible à l'humidité [M. IV 298; — Bf **149391** 5.6.82]. II.

460. Hinde a proposé un explosif composé de : IV.

Nitroglycérine	64	parties.
Citrate d'ammoniaque [$C^{12}H^{7}(AzH^{4})O^{14}$]	12	»
Palmitate éthylique ($C^{36}H^{36}O^{4}$)	0,25	»
Carbonate de chaux	0,25	»
Sodium	0,50	»
Charbon (houille)	23,00	»

[M. V 731].

461. Hochstätter (Poudre). Consiste en un mélange de *chlorate de potasse* ou *de plomb,* de *nitrate de potasse* ou *de* III. VIII.

soude, de *charbon* ou de *soufre* ou d'un *sulfure métallique.* On fait dissoudre le mélange dans de l'eau et l'on y trempe du *papier* ou des *matières végétales,* de manière à les rendre explosives [Ba **2869** 17.12.69].

I. **462. Hodge** a proposé d'injecter de la *vapeur d'eau* dans les matières pulvérulentes de *poudre noire,* en vue d'opérer une dissolution partielle du salpêtre et de faciliter le mélange intime des composants [Ba **2227** 22.8.57].

II. **463. Hope** substitue à la totalité ou à une partie du charbon : de l'*amidon,* de la *farine,* du *sucre,* ou d'autres *substances organiques* contenant du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène. Il emploie également du *bitume* ou un autre *hydrocarbure solide,* à l'effet d'obtenir une combustion plus complète [Ba **14914** 12.11.84].

***464. Hornite.** Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

IV. **465. Horsley (Dynamites).** Se composent de :

1° Un mélange de 3 parties de *nitroglycérine* avec 8 parties d'*alun* ou de *sulfate de magnésie* finement pulvérisé et tamisé [D. 702];

2° Un mélange formé de 20 parties de *nitroglycérine* et de poudre Horsley composée de *chlorate de potasse* et de *noix de galle* (voir le n° suivant) [D. 722].

Deux variétés de cette poudre, autorisées vers 1872, ont été décrites comme poudres composées de *nitroglycérine* soigneusement mélangée avec au moins 75 pour 100 d'une des compositions suivantes, pulvérisées ou granulées :

	A.	B.
Chlorate de potasse.....	3	6
Noix de galle.....	1	1
Charbon de bois.....	»	1

III. **466. Horsley (Poudre).** Se compose d'un mélange de *chlorate de potasse* finement pulvérisé et de *noix de galle,* dans la proportion de 3 à 1. On grène la poudre en la passant par un tamis, à l'état humide. On affirme que cette poudre fait explosion à

430° F. et qu'elle a une force 5 fois supérieure à celle de la poudre noire [Ba 1193 19.4.69, 1885 22.6.72; — D. 618].

*467. **Howittite**. Mélange d'*acide picrique,* de *chlorate de potasse* et de *nitrate de soude*. C'est un explosif très sensible et très instable. L'action de l'acide picrique sur le chlorate de potasse à 100° F. est très puissante. La demande d'autorisation a été rejetée. III. VI.

*468. **Hudson (Explosif)**. Sorte de *gélatine détonante* employée en Amérique (1889) comme charge d'éclatement d'obus, et obtenue par un mélange intime de *nitroglycérine* avec du *coton-poudre* préalablement dissous dans l'*acétone,* l'*éther acétique* ou un *mélange d'éther sulfurique et d'alcool.* IV. V.

469. **Huetter (Poudre)**. Identique à la *tonite.* V.

470. **Huile détonante, explosive, fulminante.** Voir *Nitroglycérine* et *Bjorkmann* (*C. G.*).

471. **Hunt** a proposé de mélanger les ingrédients de la poudre *noire* avec une quantité suffisante d'*eau* pour former une pâte très mince et pour les combiner à cet état dans un tambour tournant spécialement disposé à cet effet [Ba 3775 12.12.72]. I.

472. **Hunter**. Les *fusées de mine de Hunter* ressemblent beaucoup aux *mèches allemandes;* elles sont imperméabilisées ou vernies à l'extérieur. Une extrémité du tube est amorcée avec du *salpêtre* ou du *soufre,* ou avec les deux substances. Le salpêtre seul est préférable pour les mines contenant des gaz inflammables. La fabrication de ces fusées est abandonnée. VIII.

*473. **Hydrocellulose.** Voir *Hydronitrocellulose.*

*474. **Hydronitrocellulose**. Préparée par *Aimé Girard* en nitrifiant de la *cellulose* préalablement désagrégée au moyen d'*acide chlorhydrique* ou *sulfurique* [*Mém. poudr. salp.* : 2 21]. V.

I

*475. **Inexplosible Cahuc.** Voir *Sûreté* (*Poudres de mine de*).

*476. **Instantané** (**Cordeau**). Voir *Cordeau détonant.*

VIII. **477. Iodure d'azote** ($AzH.I^2$). C'est une poudre violette qui, sèche, fait explosion, lorsqu'on la touche avec une barbe de plume. On l'obtient par l'action de l'*ammoniaque* sur l'*iode*.

J

*478. **J** (**Poudres**). Voir *Pyroxylées* (*Poudres de chasse*).

*749. **Jahnite.** Voir *Johnite.*

480. **Jaline.** Voir *Johnite.*

*481. **Jaune** (**Poudre**). Voir *Darapsky.*

482. **J. B.** (**Poudres**). Voir *Johnson* (*Poudres*).

*483. **Jewell.** Voir *Munroe.*

III. VI. *484. **Johnite.** Cet explosif, appelé aussi *Jahnite* ou *Jaline,* se compose de :

Nitrate de potasse.....	75	parties
Soufre	10	»
Lignite.....	10	»
Picrate de soude.....	3	»
Chlorate de potasse.....	2	»

[*Mining Journal,* 18.6.87].

Il se fabrique en Autriche. Les proportions s'écartent quelquefois des quantités indiquées, et l'on ajoute de l'*acide picrique* et de la *soude* calcinée en petites quantités.

485. Johnson a proposé d'employer du *phosphore amorphe* et des *sels métalliques* pour la fabrication de la poudre fulminante. Sa proposition et les proportions qu'il indique sont identiques à celles d'*Alexandre* [Ba **2377** 10.10.56]. VIII.

486. Johnson (Poudres). Pour ces poudres, on emploie de la *binitrocellulose* ou des *variétés inférieures de nitrocellulose* imprégnées de *nitrate de baryte* ou *de potasse* et associées à du *charbon* ou à une autre *substance carboneuse*. Le brevet donne les compositions suivantes : V.

	Pour armes de guerre.	Pour armes de chasse.
Nitrocellulose	50 parties	50 parties
Nitrate de potasse	40 »	22 »
Nitrate de baryte	» »	25 »
Amidon torréfié ou noir de lampe	10 »	3 »

On donne aux poudres la forme de grains ou de blocs, et on les imprègne d'une solution de *camphre* et de *phénol* ou de camphre seul dans un dissolvant volatil convenable, dans la proportion de 1 partie de camphre (ou de camphre et de phénol) et 5 parties de dissolvant pour 10 parties de poudre. On fait évaporer le dissolvant à une chaleur douce et l'on débarrasse le produit du camphre, en le chauffant à une température n'excédant pas 100°C.

On prétend que, par ce procédé, on peut donner aux poudres le degré voulu de dureté et de densité et régler ainsi l'énergie de l'action de l'explosif, et l'on affirme que « ces résultats doivent être attribués, non à la présence d'une plus ou moins grande quantité de camphre dans l'explosif, mais à une action remarquable de gélatinisation ou aux autres modifications que le camphre fait subir à la nitrocellulose, lorsque ces deux substances sont chauffées ensemble à différentes températures n'excédant pas 100°C.; on peut ainsi régler à volonté la dureté et la densité de l'explosif par la proportion du camphre employé ». Cette théorie exclut compl-

tement l'emploi du coton-poudre ordinaire, qui présente de l'incertitude et du danger [Ba 8951 24.7.85].

La Compagnie E. C. a obtenu récemment une licence pour la fabrication de ces poudres sous le nom de : « Poudre (de guerre ou de chasse) brevetée J. B. de la Compagnie des poudres E. C. » — Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

487. Johnson. Voir *Reid et Johnson.*

488. Jolly. Voir *Wigfall.*

IV. *489. **Jone (Dynamite).** Cet explosif a été autorisé dans la colonie de Victoria. Il se compose de *dynamite à faible titre* (30 pour 100 de nitroglycérine) absorbée dans un mélange de *kieselguhr* et de *sulfate de chaux.*

IV. **490. Judson (Dynamite).** Mélange de *nitroglycérine,* de *nitrate de soude* et de *charbon bitumineux.* La proportion de la nitroglycérine est faible.

IV. **491. Judson (Poudre).** C'est une sorte de dynamite américaine comprenant 4 variétés et contenant de 5 à 20 pour 100 de *nitroglycérine.* C'est un mélange de nitroglycérine et de différents sels explosifs. Cette poudre diffère des mélanges ordinaires de cette nature en ce que les grains de la matière absorbante sont recouverts d'une substance combustible qui empêche l'absorption de la nitroglycérine ou de l'eau. Le but est « d'économiser et de rendre efficace la quantité de nitroglycérine qui se trouve si fortement absorbée et incorporée qu'elle devient inexplosible, lorsqu'on emploie les absorbants ordinaires ». On obtient ainsi, avec une quantité relativement faible de nitroglycérine, un composé explosif puissant. La composition suivante représente un type de substance absorbante de cette nature :

Soufre	15	parties
Résine	3	»
Asphalte	2	»
Nitrate de soude	70	»
Anthracite	10	»

Après avoir fondu ensemble et bien mélangé les trois premières substances, on ajoute le nitrate de soude et le charbon desséchés et pulvérisés, et l'on remue soigneusement jusqu'à ce que les grains cessent d'adhérer les uns aux autres.

La nitroglycérine peut être ajoutée au mélange fini, dans la proportion voulue [T. 105].

La variété RRP est la plus employée et elle a la composition suivante :

Nitrate de soude.....	64	parties
Soufre.....	16	»
Charbon cannel.....	15	»
Nitroglycérine.....	5	»

En réalité, c'est une sorte de poudre de mine ordinaire brute contenant un peu de nitroglycérine. Pour qu'elle développe toute sa force, il faut employer une amorce d'un explosif plus puissant.

492. Jupiter (Dynamite). Nom donné à une sorte de *dynamite n° 2* semblable à la poudre *Vulcain* ou *Neptune*. IV.

***493. Justice** a proposé (1888) un mélange d'un *nitrate* et de *chlorate de potasse* pétris avec de la *paraffine* ou de la *naphtaline*. III.

K

494. Kalk. Voir *Atlas* (*Dynamite*).

***495. Kadmite.** Dynamite faible composée de 20 parties de *nitroglycérine*, 56 de *nitrate de soude*, 10 de *soufre*, 4 de *charbon* et 4 de *matière ligneuse*. IV.

496. Keil (Poudre). Mélange de *nitroglucose* (*dextroglucose*, préparé avec de l'*amidon*) avec du *nitrate* et du *chlorate de potasse* et avec des *fibres végétales* préparées [T. 107]. III. VIII.

III. **497. Kellow et Short (Poudres).** Composition :

Nitrate de soude	30	ou	36	parties
Nitrate de potasse	8	»	4	»
Chlorate de potasse.....	12	»	6	»
Soufre.....	10	»	10	»
Tan ou sciure de bois.....	46	»	50	»

A chacune de ces compositions on ajoute une quantité d'eau suffisante et, après avoir mélangé le composé, on le dessèche et on le tamise. Ces proportions peuvent se modifier suivant la force que l'on désire obtenir; celle-ci s'accroît lorsqu'on augmente la quantité du chlorate de potasse et qu'on diminue celle du nitrate de soude [Ba **1796** 17.6.62; — D. 612].

III. V. VIII. **498. Kinétite** [*T. Petry et O. Fallenstein*]. Cet explosif se compose de *nitrobenzol* épaissi ou gélatinisé par l'addition d'une petite quantité de *coton-collodion,* mélangé avec du *chlorate de potasse* finement pulvérisé et avec du *sulfure d'antimoine* précipité. Il s'enflamme à une température relativement très élevée, et, dans les conditions ordinaires, on ne peut en déterminer l'explosion à l'air libre par la chaleur. Il ne s'altère que très peu par immersion dans l'eau, à moins que cette immersion ne soit prolongée, car, dans ce dernier cas, le chlorate de potasse se dissout et il reste un résidu pratiquement inexplosible (1). Malheureusement cet explosif est extrêmement sensible à la friction accompagnée de percussion, et s'enflamme facilement par le choc de bois sur bois. Sa stabilité chimique laisse également à désirer, et l'on connaît des cas où il s'est enflammé spontanément, au laboratoire et en magasin.

La kinétite est une masse plastique d'une couleur orange et d'une forte odeur caractéristique de nitrobenzol.

Il y a une variété de kinétite où le sulfure d'antimoine est remplacé par du *nitrate de potasse;* mais, bien que moins sensible que la variété décrite ci-dessus, elle est encore d'une sensibilité dangereuse à l'action de la friction accompagnée de choc.

---

(1) Mais si l'on exposait cet explosif alternativement à l'air humide et à l'air sec, le chlorate de potasse cristalliserait à la surface et le rendrait très sensible.

L'analyse d'un échantillon de la première variété a donné la composition suivante :

Nitrobenzol	19,4
Chlorate de potasse	76,9
Sulfure d'antimoine Coton nitré	3,7

Voir aussi *Dulitz* et *Fallenstein* [Ba **10936** 6.7.84 ; — *Journ. of the Soc. of Chem. Ind.*, janvier 1887].

*499. **Kitchen** a présenté un échantillon d'un explosif appelé *cycène* et composé de : III.

Chlorate de potasse	8	parties
Poussier de charbon	3	»
Résine ou soufre	1	»

On a constaté qu'il était sensible au frottement et au choc, après avoir été conservé [Ba **11102** 1889].

*500. **Knab** a proposé d'enlever au *nitrate de soude* ses propriétés hygrométriques en malaxant le nitrate sec avec 4 pour 100 d'*huile* environ. La Commission des substances explosives a établi un rapport défavorable [*Mém. poudr. salp.* : **1** 459]. II.

501. **Knaffl (Poudre)**. Composition : III.

Chlorate de potasse	46	parties
Nitrate de potasse	26	»
Soufre	15	»
Ulmate d'ammoniaque	10	»

L'ulmate d'ammoniaque est une substance brune que l'on obtient en soumettant à l'action de la vapeur surchauffée un tissu de coton et de laine ; le coton reste intact, mais la laine forme une substance brune que l'on enlève facilement à l'aide d'un battoir. Cette substance se vend ordinairement comme engrais. Ainsi que l'indique sa composition, cette poudre est très sensible [D. 612].

III. 502. **Köhler (Poudre)**. Composition :

Chlorate de potasse.....	70	parties
Soufre.....	20	»
Charbon de bois.....	10	»

Il est évident que cette poudre est d'une sensibilité dangereuse [Ba **1622** 10.6.57].

IV. *503. **Kolbe** a fait breveter la préparation d'un explosif n'enflammant pas le grisou et les poussières de charbon, et se composant d'un mélange intime de *nitroglycérine* avec 20 pour 100 au plus de *carbonate,* d'*oxalate* ou de *chlorate d'ammoniaque* [Bf **189588** 26.3.88]. — Voir *Grisou* (*Explosifs pour mines à*).

V. VIII. *504. **Kolf** a fait breveter la fabrication d'une poudre sans fumée dont le maniement serait sans danger, par l'emploi d'*hydrates de carbone nitrés* (plantes ou débris, tels que le *malt en grains,* les *résidus de trempes de brasserie,* etc.), lesdits produits nitrés étant :

(*a*) Sulfurés sous pression au moyen d'un traitement par l'*hydrogène sulfuré,* les *sulfhydrates* ou les *polysulfures;*

(*b*) Chargés sous pression de matières oxygénées au moyen d'un traitement par une dissolution desdites matières;

(*c*) Imprégnés par compression d'un *hydrate de carbone binitré* ou de *binitrocellulose* pour leur donner la forme voulue. [Bf **206198** 7.6.90].

IV. VIII. *505. **Kölner Dynamit Fabrik (Die)** a fait breveter :

1° L'application de dissolutions de *nitrate d'ammoniaque* dans l'*ammoniaque liquide* pour le remplacement ou le réglage de la quantité de *nitroglycérine* entrant dans la composition des matières explosives;

2° La fabrication dudit *nitrate d'ammoniaque* au moyen des vapeurs d'*acide azotique* se dégageant dans la fabrication de la nitroglycérine par leur introduction dans une tour à coke dans laquelle coule de l'*ammoniaque* de haut en bas et en sens inverse des vapeurs azotiques, et par la concentration de ces dissolutions jusqu'à la cristallisation;

3° L'application d'*oléate* ou de *margarate d'alumine* comme moyen d'imprégnation, dans le but de régler l'humidité nécessaire pour la flexibilité des cartouches de matières explosives.
[Bf 169406 6.6.85].

*506. **Köppel**. Voir *Vulcanite*.

*507. *k* **Pulver**. Poudre *noire* autrichienne pour canons de 180^{mm} et 230^{mm}. I.

508. **Kraft (Poudre)**. Sorte de dynamite présentée par *C. G. Bjorkmann,* et composée de : IV

Nitroglycérine	62	parties
Chlorate de potasse	19	»
Nitrate de potasse	17	»
Liège concassé	14	»

509. **Krebs.** Voir *Lithofracteur.*

510. **Krümmel (Dynamite)**. Sorte de *dualine*. Elle se compose de : IV.

	1.		2.	
Nitroglycérine	40 à 50	parties	30 à 35	parties
Sciure de bois séchée et nitrée.	10	»	60	»
Kieselguhr	40	»	5	»

Ces deux compositions constituent des matières brunâtres. Le plus faible mélange est destiné aux mines de houille et d'autres matières tendres [D. 726].

511. **Kubin**. Voir *Écrasite* et *Grisou* (*Explosifs pour mines à*).

512. **Kuhnt**. Voir *Grisou* (*Explosifs pour mines à*).

513. **Kuhnt et Deissler** mélangent de la *nitroglycérine* avec du *carbonate d'ammoniaque* ou avec du *chlorure d'ammonium,* et prétendent que la température des gaz qui se dégagent pendant l'explosion du mélange ainsi obtenu est tellement basse qu'elle pré- IV.

vient la production de flammes [Ba **5949** 21.4.88]. — Voir *Grisou* (*Explosifs pour mines à*).

II. 514. **Küp (Poudre)**. Mélange de 80 pour 100 de *nitrate de baryte* avec du *soufre* et du *charbon* [D. 610].

L

515. **Lactose nitré**. Voir *Nitrolactose*.

V. *516. **Lafaye** a fait breveter l'emploi de la *pâte de bois* chimiquement pure à la fabrication des explosifs à base de nitrocellulose, dans le but d'abaisser d'environ 50 pour 100 le prix de revient de ces substances [Bf **192369** 13.8.88, 29.10.88].

*517. **Laligant**. Voir *Sanlaville et Laligant*.

VIII. *518. **Lambotte** forme les 3 mélanges suivants :

1er *mélange.*	Acide sulfirique à 66° B.....	53,2000	parties
	Acide nitrique fumant.....	26,6000	»
2e *mélange.*	Matières sacchareuses en solution	10,0365	»
	Sulfure de carbone.....	0,0500	»
	Oxyde de plomb.....	0,0250	»
3e *mélange.*	Sciure de bois blanc ou son.....	6,7425	»
	Sulfate de baryte ou autres matières absorbantes.....	3,3460	»

Le premier mélange doit être refroidi à 20° C. au moins; le second doit être chauffé à 130° C. lorsqu'on doit en faire usage immédiatement, ou bien laissé en repos à froid pendant 7 jours au moins avant l'emploi.

Les deux premiers mélanges sont mis en contact intime par petites parties successives; puis le tout est versé immédiatement dans 6 ou 10 fois son volume d'eau froide. Le résidu déposé au fond du vase est ensuite lavé à grande eau; celle-ci peut être chauffée à 100° C. Cette substance est alors brassée avec les ma-

tières du troisième mélange, de manière à former une pâte homogène pour être mise en cartouches.

Les quantités de sulfure de carbone et d'oxyde de plomb peuvent varier. Celles des matières composant le troisième mélange peuvent être augmentées ou diminuées selon leur degré d'absorption et la force qu'on veut donner au produit [Bf **152285** 24.11.82].

519. **Lamm (C.)**. Voir *Bellite* et *Nitrolite*.

*520. **Lamm** a fait breveter l'emploi de *cires de carnauba* ou *de palmier,* soit seules, soit en combinaison avec des corps qui ont un point de fusion moins élevé, comme masse protectrice pour explosifs, notamment pour ceux qui renferment des sels solubles dans l'eau ou hygroscopiques, en vue de l'enserrage complet de ces explosifs par suite du coefficient de contraction élevé des deux espèces de cire lors de leur solidification [Bf **192974** 14.9.88]. VIII.

*521. **Landauer** a fait breveter le traitement des *chlorates* et *perchlorates* par enrobement à l'aide de *corps gras, hydrocarburés* et *nitrés*. Formules : III. VIII.

N° 1.	Chlorate de potasse	5 à 10 p. 100
	Soufre	½ »
	Binitronaphtaline	5 »
	Goudron	5 »
N° 2.	Chlorate de potasse	5 à 10 »
	Nitrocellulose	20 »
	Huile de coco	10 »
	Goudron	10 »
N° 3.	Chlorate de potasse	5 à 10 »
	Nitroglycérine	10 »
	Goudron de bois	25 »

Il a fait également breveter l'emploi d'*amorces spéciales* [Bf **216053** 11.9.91, 1.10.91, 6.2.92].

*522. **Landsdorf** mélange 75 parties de *nitroglycérine* avec 5 parties d'*urate d'ammoniaque* et 20 parties de *kieselguhr*. Il emploie également un mélange de 73 parties de *salpêtre,* de IV.

9 parties d'*urate d'ammoniaque,* 9 parties de *soufre* et 9 parties de *charbon.*

IV. V. 523. **Lanfrey (Poudre).** Consiste en *paille* transformée en nitrocellulose par l'action des acides ordinaires et imprégnée ensuite d'une solution contenant du *salpêtre,* du *bois dur,* du *charbon* et de la *dextrine.* On a proposé également d'imprégner cette paille nitrée de *nitroglycérine* pour former une *dynamite-paille.* On prétend que la *silice* qui se trouve dans la paille donnerait de la stabilité à l'explosif, mais il n'est pas facile de voir pourquoi [Ba 3119 7.8.78].

*524. **Lange.** Voir *Selwig et Lange.*

II. 525. **Lannoy (Poudre).** Poudre blanche composée de :

Nitrate de soude	65	parties
Soufre	13	»
Bois, sciure de bois ou son nitrés	22	»

Elle s'enflamme difficilement et brûle lentement à l'air. Elle répand de fortes vapeurs nauséabondes [D. 669].

*526. **Laurence.** Voir *Sûreté* (*Poudre de mine de*).

527. **Le Bricquir.** Voir *Espir.*

II. VI. *528. **Léderite** [*J. Waffen*]. Cet explosif se fabrique en Autriche et se compose de :

Nitre	45	parties
Soufre	15	»
Plomb rouge	20	»
Rognures de cuir	18	»
Acide picrique	2	»

[O. G.].

III. VIII. *529. **Le Maréchal** a fait breveter la fabrication d'une poudre par le mélange à chaud de l'*acide stéarique* ou *palmitique,* du *chlorate de potasse, de soude* ou *d'ammoniaque* finement pulvérisés, et la pulvérisation du produit refroidi suivie d'une

compression pour former un tout homogène qu'on granule en différentes grosseurs, avec ou sans addition de *charbon de bois* finement pulvérisé, pour augmenter l'inflammabilité du produit [Bf **167943** 25.3.85, 11.5.85; — *Mém. poudr. salp.* : **2** 628].

*530. **Lénite.** Mélange d'*acide picrique* et de *collodion.* V. VI.

*531. **Lewin** a fait breveter : IV. V.

1° Un mélange explosif dénommé *sandholite* et composé de *nitroglycérine, nitrocellulose, canne à sucre nitrée* (ou *résidus de canne à sucre nitrés*), *farine de seigle, nitrate de soude, paraffine* et *goudron* ou leurs équivalents, en proportions fixes ou variables;

2° L'emploi de la *canne à sucre nitrée* (ou *résidus de canne à sucre nitrés*) comme explosif, soit isolément, soit en mélange [Bf **185956** 20.9.87].

532. **Lewin.** Voir *Forcite.*

*533. **L. G. Powder.** Poudre *noire* anglaise (*large grain*) I. qui était employée dans les anciens canons et dont les grains sont plus petits que ceux de la *poudre RLG.* — Voir *Blank Powder.*

*534. **Liardet** dissout de l'*acide picrique* dans la moitié de VI. son poids de *glycérine* bouillante, et ajoute une certaine proportion de *bois de cèdre* broyé, ou d'un autre *bois,* et du *nitrate de potasse* [Ba **12427** 6.8.89].

*535. **Liebert** a fait breveter un procédé consistant à ajouter IV. 3 à 5 pour 100 de *nitrate isoamylique* à la *nitroglycérine,* ou à nitrer un mélange de *glycérine* et de *nitrate isoamylique* ou d'*alcool isoamylique* [Bf **199148** 24.6.89; — Ba **5503** 30.3.89].

Le composé ainsi obtenu ne se congèlerait pas à —35° et serait moins sensible et plus puissant que la nitroglycérine.

*536. **Liebert** a fait breveter le mode de préparation de la IV. *nitroglycérine* consistant à ajouter au mélange d'acides nitrique et sulfurique du *sulfate de fer* ou du *nitrate d'ammoniaque* [Ba **198726** 4.6.89].

II. *537. **Liesch (Poudre)**. Cette poudre, appelée aussi *pétralite,* se compose de *nitre, soufre, pulpe de bois* et *poussier de coke*. Elle se fabrique en Hongrie [O. G.; — D. 603].

IV. 538. **Lignine (Dynamite-)**. Nom générique pour une série de mélanges formés de *nitroglycérine* et de *sciure* ou de *pulpe de bois, nitrée* ou non. A quelques variétés de cet explosif on ajoute aussi des *nitrates*.

IV. 539. **Lignose**. Synonyme de *dynamite-lignine*.

V. *540. **Lignose.** On désigne également sous ce nom un *bois nitrifié* préparé par une fabrique prussienne.

VIII. *541. **Limparicht** a fait connaître, en 1888, les explosifs suivants, qui ne paraissent avoir qu'un intérêt théorique :

1° Le *métatriazobenzine sulfate de baryte,* qui détone à 130°;

2° Le *triazonitrobenzine sulfate de potasse,* qui est très instable et détone à 130°;

3° L'*acide sulfodiazotriazobenzol,* très sensible au choc et à la chaleur;

4° L'*acide sulfodiazodibromobenzine,* encore plus sensible;

5° Le *triazodibromobenzine sulfate de baryte;*

6° L'*acide hydrazinobenzinedisulfurique;*

7° Le *triazobenzinedisulfate de baryte*.

*542. **Lin nitré**. Voir *Nitrolin*.

*543. **Lithoclastites**. Voir *Roca*.

IV. 544. **Lithofracteur**. Sorte de *dynamite* n° 2. L'explosif importé sous ce nom en Angleterre consiste en un mélange contenant au plus 55 parties de *nitroglycérine* et 45 parties d'une composition pulvérisée formée de 1 partie de *charbon,* de *son* et de *sciure de bois* (séparément ou ensemble), de 3,5 de *kieselguhr,* de 2,5 de *nitrate de baryte* et de *bicarbonate de soude* (ou d'une de ces substances) et de 0,5 de *soufre* et de *manga-*

nèse (ou d'une de ces substances). Deux analyses ont donné :

	A.	B.
Nitroglycérine	52	70
Kieselguhr et sable	30	23
Houille pulvérisée	12	2
Nitrate de soude	4	»
Nitrate de baryte	»	5
Soufre	2	»

Par sa force explosive, ce composé est inférieur à la dynamite n° 1, et l'on dit qu'il est plus sensible à la chaleur. Ce n'est autre chose qu'un mélange de dynamite ordinaire avec une sorte de poudre de mine noire. Bien qu'il figure sur la liste des explosifs autorisés, le lithofracteur est maintenant peu employé en Angleterre [D. 722].

*545. **Lithofracteur n° 2.** Cet explosif, autorisé dans la colonie de Victoria, se compose de 64 pour 100 de *nitroglycérine* absorbée dans un mélange de *nitrates de potasse* et *de baryte,* de *charbon, poudre de bois, manganèse* et *carbonate de magnésie.* IV.

546. **Lithofracteur.** Voir *Rendrock* et *Saxifragine.*

547. **Lithotrite.** Voir *Antheunis.*

548. **Liverpool (Coton-poudre de).** Voir *Potentite.*

549. **Lloyd.** Voir *Gallaher.*

550. **Lobb (Poudre).** Dans cette poudre, le charbon et le soufre qui entrent dans la composition de la *poudre noire* sont remplacés par la *sciure de bois,* et l'on y ajoute de la *chaux.* La sciure de bois aurait pour effet de diminuer la quantité de fumée. On ajoute la chaux pour réagir contre la déliquescence du nitrate de soude, surtout dans les souterrains ou dans les endroits humides [Ba 1861 25.10.61]. II.

551. **Lom de Berg (De).** Voir *Magnier.*

I. *552. **LP**. Poudre *noire* allemande pour carabine [*Mém. poudr. salp.* : 1 335].

VIII. *553. **L. P. (Poudre)**. C'est le nom sous lequel a été importé en Angleterre une poudre belge sans fumée. C'était une poudre à grains cubiques fins, de couleur noire et à odeur d'*éther butyrique* ($C^4H^5.C^8H^7O^4$). Elle a été rejetée pour cause d'instabilité chimique, n'ayant satisfait à l'épreuve de chaleur que pendant 4 minutes, au lieu du minimum de 10 minutes. — Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

V. *554. **Lundholm et Sayers** ont fait breveter :

1° Le procédé de mélange ou d'incorporation des *dérivés nitrés de la cellulose* avec des *matières organiques,* procédé consistant à suspendre ou à répandre l'une ou les deux classes d'ingrédients dans de l'eau ou un autre liquide convenable qui est pratiquement incapable ou a été rendu incapable de les dissoudre, et à les agiter ensemble dans le liquide et ensuite à séparer le liquide;

2° La fabrication d'*explosifs sous-sensibles* en combinant des *dérivés de la cellulose* avec des *matières nitro-aromatiques;*

3° La fabrication des explosifs en combinant de l'*oxynitrocellulose* ou de l'*hydronitrocellulose,* ou bien les deux, avec une ou plusieurs *matières organiques,* avec ou sans un ou plusieurs autres *dérivés de la cellulose;*

4° Le chargement des projectiles creux avec deux ou plusieurs couches ou épaisseurs d'explosifs [Bf **206917** 8.2.90].

VIII *555. **Lyddite**. Explosif mis en essai depuis 1888 à Lydd, en Angleterre, et qu'on dit analogue à la *mélinite*.

M

I. *556. **M/71 Normal-Pulver**. Ancienne poudre *noire* réglementaire de l'infanterie allemande (plus de 4000 grains au gramme) [*Mém. poudr. salp.* : 1 315].

557. **Mackie**. Dans le brevet qu'il prit, en association avec *Faure,* pour un procédé de fabrication du coton-poudre, *Mackie* proposa une poudre détonante consistant en *coton-poudre nitraté* (ou en une substance analogue), avec addition de *résine, laque en écailles, ozokérite, collodion, glycérine, charbon* ou *suie*. Il indique, par exemple, un mélange de 5 à 10 parties de coton-poudre pour 2 parties de résine et 1 partie de salpêtre. Quand on emploie de la glycérine ou de l'ozokérite, on obtient un produit plastique [Ba **1830** 20.5.73]. V. VIII.

En association avec *Faure* et avec *Trench, Mackie* fit breveter ultérieurement un mélange formé de *nitrate de baryte* et de *coton-poudre* [Ba **3612** 20.10.74]. — Voir *Tonite*.

Plus tard, les mêmes inventeurs ont pris un brevet pour l'emploi du *sainfoin,* du *chanvre,* du *lin,* de la *paille,* du *foin,* des fibres de l'*aloès américain* et du *yucca,* et d'autres substances végétales ou de succédanés du coton [Ba **2742** 4.7.76].

558. **Mackintosh** a proposé de mélanger de la *poudre noire ordinaire* et d'autres explosifs avec du *caoutchouc* ou avec de la *gutta-percha* sous forme de solution, et d'étendre le mélange ainsi obtenu sur une étoffe. Celle-ci devient inflammable et brûle rapidement lorsqu'on y ajoute du *chlorate de potasse,* et lentement lorsqu'on y ajoute de la *tournure d'acier* ou du *soufre*. On peut couper l'étoffe en bandes et l'employer avec des projectiles incendiaires [Ba **404** 11.2.57]. II. III.

559. **Magnésie (Poudre à la)**. Voir *Hercule* (*Poudre n°* 1).

*560. **Magnier, de Lom de Berg et Vielliard** ont fait breveter : VI. VIII.

1° La nitration des *phénols* et *homophénols* ainsi que des produits mixtes, *quinone* ou *phénols-alcools;*

2° Le traitement des produits trinitrés obtenus par les carbonates des bases indiquées, ou par les bases elles-mêmes : *carbonate d'ammoniaque* ou *ammoniaque, carbonate de soude* ou *soude,* etc., en vue de transformer les produits trinitrés en sels de ces bases; puis leur mélange avec un des *nitrates d'ammoniaque, de potasse, de soude* ou *de baryte*.

[Bf **213976** 8.6.91]. — Voir *Manuelite*.

V. *561. **Maissin** a fait breveter :

1° L'emploi du *coton-poudre* en grains à la fabrication d'un *cordeau* susceptible de transmettre le feu et la détonation à grande distance avec une vitesse de plusieurs kilomètres par seconde;

2° L'emploi d'un moule de forme cylindro-conique permettant de comprimer le coton-poudre et de désagréger ainsi d'une manière régulière et légèrement les grains de coton-poudre, pour former un cylindre de substance détonante continue bien homogène et plus apte à la transmission de la détonation;

3° La préparation isolée de l'âme du cordeau détonant, préparation qui permet de vérifier la régularité parfaite de répartition de la substance détonante et au besoin la suppression des parties défectueuses pour former ensuite, par la réunion des tronçons, une âme qui peut atteindre une longueur indéfinie et dont la détonation complète est infaillible sur toute la longueur.

[Bf 190073 22.4.88; — *Mém. poudr. salp.* : 2 609]. — Voir *Cordeau détonant.*

VI. *562. **Maïzite.** Explosif de rupture proposé en 1886 par *Pesci et Zini.* La composition serait la suivante :

	N° 1.	N° 2.
Picrate d'ammoniaque.....	60	28
Nitrate d'ammoniaque.....	40	72

I. *563. **Mammoth Powder.** Poudre *noire* américaine, de forme irrégulière, employée autrefois pour les canons de gros calibre [D. 344].

VI. *564. **Manuelite.** Cette substance se compose de 100 parties d'*acide picrique* combiné avec 20 parties de *carbonate d'ammoniaque* et 45 de *carbonate de soude.*

Les cristaux de picrate d'ammoniaque et de trinitrocrésylate d'ammoniaque, ainsi que les sels correspondants de soude, sont ensuite employés dans les proportions suivantes :

1.	Sels d'ammoniaque.....	28	parties
	Nitrate d'ammoniaque.....	72	»
2.	Sels d'ammoniaque.....	40	»
	Nitrate de potasse.....	60	»
3.	Sels de soude.....	40	»
	Nitrate de potasse.....	60	»

Les *hydrocarbures résineux* qui se séparent pendant la nitrification des dérivés nitrés sont ajoutés pour donner à l'explosif une consistance plastique.

En réalité, cet explosif est simplement un mélange de picrates d'ammoniaque et de soude avec du salpêtre ou du nitrate d'ammoniaque. L'addition des hydrocarbures résineux paraît être une mesure de sûreté assez douteuse. — Voir *Magnier*.

*565. **Maréchal**. Voir *Le Maréchal*.

*566. **Matagnite**. Explosif soumis à l'approbation en 1888, IV. V. mais rejeté à deux reprises différentes : la première fois pour impureté chimique et exsudation, la deuxième fois pour exsudation. Il se composait de *nitroglycérine,* de *nitrate de potasse* et de *nitrocellulose*.

Depuis, les deux explosifs suivants ont été autorisés avec les définitions ci-dessous :

1° MATAGNITE DÉTONANTE, composée de *nitrocellulose* soigneusement lavée et purifiée, mélangée avec de la *nitroglycérine* et avec du *nitrobenzol* soigneusement purifiés, ou avec l'une de ces substances, dans des proportions telles que le tout ait les propriétés et la consistance nécessaires pour ne pas être sujet à l'exsudation ni à la liquéfaction.

2° MATAGNITE-GÉLATINE, composée de *nitroglycérine* et de *nitrobenzol* soigneusement purifiés, ou de l'une de ces substances, épaissis par l'addition de *nitrocellulose* soigneusement lavée et purifiée, et mélangés ou incorporés avec de la *sciure de bois* (pour le blanchiment ou la purification de laquelle on n'a pas employé d'agents chimiques, ou bien complètement débarrassée de ces derniers s'il en a été employé) et avec du *nitrate de potasse* ou tout autre *nitrate* qui pourrait être autorisé ultérieurement par le secrétaire d'état, dans des proportions telles que le tout ait les propriétés et la consistance nécessaires pour ne pas être sujet à la liquéfaction ni à l'exsudation.

567. **Mataziette**. Cet explosif se fabriquait à Fabry près de IV. Genève. Il consistait en un mélange d'environ 40 pour 100 de *nitroglycérine,* de *sable,* d'*ocre,* de *charbon* pilé et d'une *substance résineuse*. En octobre 1877, 12 barils qui contenaient environ 3 tonnes de cet explosif furent saisis par la douane française à Pon-

tarlier, où l'on avait cherché à faire passer cette substance comme engrais. L'explosif saisi fut consigné au fort de Larmont. Les barils s'étant brisés, on décida d'emballer l'explosif dans des boîtes garnies de sciure de bois. Le travail était déjà à moitié terminé lorsqu'une explosion se produisit qui tua 6 personnes, en blessa 4 et causa des dommages matériels considérables. L'accident fut occasionné par un maniement trop rapide et imprudent qu'exécutaient des hommes inexpérimentés.

568. **Matteen**. Voir *Pyrolithe*.

IV. V. VIII. *569. **Maxim** a fait breveter :

1° L'emploi d'*acétone* (seul ou mélangé d'*éther* ou d'*alcool* ou avec ces deux ingrédients) ou d'*acétate éthylique* pour adoucir ou dissoudre le *fulmi-coton;*

2° Le traitement des fibres du *fulmi-coton* par la vapeur *d'acétone,* d'*acétate éthylique* ou autre dissolvant;

3° Le traitement du fulmi-coton, par un *dissolvant,* dans une chambre d'où l'on aspire l'air;

4° Le procédé consistant à réduire en pâte le fulmi-coton, à le laver et le sécher, puis à le soumettre d'abord dans une chambre, d'où l'air est aspiré, à l'action de la vapeur d'acétone, d'acétate éthylique ou autre dissolvant et ensuite à la pression, et à couper ou diviser la matière comprimée en petits morceaux ou grains;

5° Le procédé ayant pour objet de soumettre le fulmi-coton adouci ou dissous en partie à une pression plus élevée que celle à laquelle il peut être soumis dans une arme à feu;

6° La combinaison, avec le fulmi-coton adouci ou dissous en partie, du *nitrate de potasse* ou autre sel analogue;

7° Le procédé consistant à dissoudre avec de l'éther du fulmi-coton de qualité inférieure et à combiner le *collodion* ainsi produit avec du fulmi-coton fortement explosif, avec ou sans addition de *chlorate de potasse* ou autre sel comportant de l'oxygène.

[Bf **194792** 15.12.88; — Ba **16213** 8.12.88]. — Voir *M. N. Smokeless Powder.*

Maxim ajoute également de l'*huile* (de préférence de l'*huile de ricin*) à des mélanges de *coton-poudre dissous,* de *nitroglycérine,* etc., pour obtenir un explosif à combustion lente pour armes de petit calibre. Les doses indiquées sont 2 à 5 pour 100 d'huile de

ricin pour 16 de nitroglycérine, et le reste en coton-poudre [Ba 4477 14.4.89].

570. **Maxim** a proposé le mélange suivant : II.

Nitrate de potasse.....	74,18	parties
Paraffine.....	11,42	»
Soufre.....	10,40	»

Il mélange 1 partie de cette composition avec 3 parties de *poudre noire* pour obtenir une cartouche plastique [Ba 6926 8.6.85].

571. **Maxwell** a simplement diminué la quantité du *salpêtre* I. de 4 pour 100 environ, et employait de l'*alcool* pur ou additionné d'eau, au lieu d'eau pure, dans l'humectation [Ba 1066 27.4.60].

*572. **MC_{30} (Poudre)**. Ancienne poudre *noire,* réglementaire I. en France, employée pour le tir des canons se chargeant par la bouche, pour le chargement des projectiles creux et pour la confection des rondelles comprimées [D. 366].

573. **Mèches allemandes.** Consistent en *tubes de papier* con- VIII. tenant une petite quantité de *poudre en grains fins* et amorcés à l'une des extrémités avec du *papier* imprégné de *salpêtre* ou de *soufre*. Elles sont employées comme fusées au lieu de *pailles,* pour mettre le feu aux charges de poudre dans les trous de mine.

574. **Mèches sans poudre**. Voir *Roca*.

*575. **Médail (Explosif)**. Voir *Bengaline*.

576. **Méganite** [*Schückher et Cie*]. On en distingue 3 va- IV. V. riétés :

	Nitroglycérine.	Nitrocellulose. Bois.	Noix d'ivoire végétal.	Poudre additionnée.
1.....	60	10	10	20
2.....	38	6	6	50
3.....	7	9	9	75

La poudre additionnée est du *nitrate de soude* pour le n° 1; 75 parties de *nitrate de soude,* 1 partie de *soude* et 24 parties de *sciure de bois* pour le n° 2; pour le n° 3, la poudre additionnée a la même composition que pour le n° 2, avec cette différence que la sciure de bois est remplacée par de la *farine de seigle.* — Voir aussi *Oriasite.*

IV. V. *577. **Mélanite.** Dynamite proposée par M. *Faille* et contenant 13 à 17 pour 100 de *nitrocellulose* pour 87 à 83 de *nitroglycérine* [*Mém. poudr. salp.* : 4 209].

578. **Mélasse nitrée.** Voir *Nitromélasse.*

VIII. *579. **Mélinite** (1). Cet explosif a été récemment l'objet de nombreuses expériences de la part du gouvernement français. Sa composition est tenue secrète, mais on suppose qu'il se compose principalement d'*acide picrique,* et il est possible qu'il ressemble à l'explosif breveté par Turpin, que nous avons mentionné précédemment (5 272). Il y a, en outre, quelque raison de supposer que l'on emploie également du *nitrobenzol* ou une substance analogue. Une variété de cet explosif, que l'on emploie pour charger les projectiles creux, s'appellerait *crésilite.* L'acide crésilique ($C^{14}H^8O^2$) correspond à l'acide phénique, mais il contient le radical hypothétique crésyl $C^{14}H^7$ au lieu du phényl $C^{12}H^5$.

M. Guttman me fait savoir qu'au début la mélinite consistait en *acide picrique* imbibé de *collodion.* Ce n'est que plus tard qu'on aurait employé de l'acide picrique fondu avec une amorce de *coton-poudre.* On ajoutait quelquefois du *nitrocrésol,* mais cette substance aurait été abandonnée.

III. V. 580. **Melland (Papier-poudre).** Cet explosif se compose de *papier* non collé que l'on plonge dans une solution bouillante des substances ci-dessous indiquées. Ensuite on enroule le papier en forme de cartouches et l'on dessèche à 212° F. Pour préserver les cartouches de l'humidité, on les revêt d'un enduit formé de 1 par-

(1) Le Comité de direction du *Mémorial* laisse à l'auteur la responsabilité des divers renseignements contenus dans cet article.

tie de *xyloïdine* (*amidon nitré*) dissoute dans 3 parties d'*acide acétique*. Les substances employées sont :

Chlorate de potasse	9	parties
Nitrate de potasse	4,5	»
Ferrocyanure de potassium	3,25	»
Charbon de bois	3,25	»
Amidon	$\frac{4}{21}$	»
Chromate de potasse	$\frac{1}{16}$	»

[D. 614]. Cet explosif a été breveté en Angleterre par *Reichen* [Ba **2266** 2.9.65].

581. Melville (Poudres). Composition : III.

	1.		2.		3.	
Chlorate de potasse	2	parties	5	parties	1	partie
Orpiment rouge	1	»	2	»	»	»
Prussiate de potasse	»	»	1	»	1	»

Les substances sont mélangées, humectées et moulées en cartouches pour les armes à feu, les travaux de mine ou les bombes [Ba **13215** 6.10.50; — D. 618].

***582. Mendoça-Corteso (Poudre).** Poudre *sans fumée* portugaise, analogue à la *cordite*. IV. V.

***583. Mérino** a proposé de revêtir des *nitrates* ou *chlorates* d'une couche protectrice d'*hydrocarbures* fondus. Il a proposé la composition suivante : VIII.

Salpêtre	73
Soufre	7
Caoutchouc ou goudron dur	3
Résine ou goudron mou	1
Anthracite	10
Nitroglycérine	6

[Bf **151960** 7.11.82].

584. Mertz. Voir *Rosenboom et Mertz*.

IV. 585. **Métalline nitroleum**. C'est un mélange de *nitroglycérine* avec du *plomb rouge* en poudre, avec ou sans *plâtre de Paris*.

586. **Métallique (Fusée de sûreté)**. Voir *Sûreté (Fusée de)*.

587. **Métalliques (Explosifs)**. Voir *Turpin* [991].

588. **Meurling**. Voir *Nordenfelt*.

II. VIII. 589. **Meyer et Moritz** ont proposé un mélange composé de :

Poudre à canon fine.....	20 parties
Antimoine.....	1 »
Salpêtre.....	2 »

1 partie de ce mélange et 5 parties de *mercure fulminant* devaient être mélangées avec $\frac{1}{2}$ partie de *ciment romain* et humectées de *gomme* pour former une pâte. Après dessiccation, le mélange devait être imperméabilisé avec de la *graisse*. Il est douteux que ce composé bizarre ait jamais été essayé dans la pratique [Ba **515** 23.2.65].

I. *590. **MG$_1$ Powder** (*Machine Guns Powder*). Poudre *noire* anglaise qui a été mise en service pour l'usage des mitrailleuses et dont les grains étaient mis en cartouches comprimées sans être écrasés. Actuellement cette poudre est employée dans le canon Nordenfelt de 25^{mm}.

IV. 591. **Mica (Poudre au)**. Cet explosif, inventé par *Mowbray*, est un mélange de *nitroglycérine* avec des écailles finement divisées de *mica*. Les écailles de mica, qui remplacent les petits fragments de verre que l'on avait essayés au début, agiraient plutôt comme véhicule que comme absorbant du liquide explosif. En faveur de l'emploi du mica on invoque le même principe que celui qui avait été énoncé par *Judson*, à savoir que, avec les absorbants ordinaires, comme la kieselguhr, une partie de la nitroglycérine est perdue. On dit que la poudre au mica serait d'une action plus rapide que la dynamite ordinaire [T. 88].

592. **Michalowski (Poudre des mineurs)**. Composition : III.

Chlorate de potasse	50	parties
Bioxyde de manganèse	5	»
Matière organique finement pulvérisée	45	»

Cette dernière est de la *sciure de bois,* du *tan* ou le plus souvent du *son,* etc. L'explosif ressemble beaucoup à l'*asphaline* [M. XIII 244; — Bf 148681 1.5.82; — *Mém. poudr. salp. :* 2 613].

593. **Millbank** a proposé, comme charges pour capsules, amorces et cartouches, deux mélanges détonants composés de : III.

	1.	2.
Chlorate de potasse	80	20
Prussiate de potasse	»	10
Phosphore amorphe	4,5	1
Charbon	35	»

Ces mélanges seraient d'une efficacité certaine et exempts de danger! [T. 103].

594. **Miller (Poudre)**. Cette poudre est formée de deux compositions qui, inoffensives séparément, deviennent explosives lorsqu'elles sont mélangées ensemble :

Composition n° 1.	Nitrate de soude	35	parties
	Salpêtre	25	»
	Amidon	2	»
Composition n° 2.	Bichromate de potasse	3	»
	Soufre	13	»
	Charbon	12	»

Pour former un composé explosif, on doit mélanger 18 parties du n° 1 avec 7 parties du n° 2 [T. 106].

595. **Millot**. Voir *Girard.*

*596. **Mindeleff**. Voir *Terrorite.*

597. **Miner's Friend Powder** (*Poudre amie du mi-* IV.

neur). C'est une *dynamite-lignine* contenant du *nitrate de soude*. — Voir *Lignine*.

IV. 598. **Miner's Powder Company Dynamite**. C'est une *dynamite n° 2* semblable à la poudre *Vulcain*.

I. *599. **Mine (Poudres de)**. Les *poudres de mine noires* fabriquées en France comprennent 3 catégories :

1° *Poudres rondes* ou *à grains anguleux*, destinées aux travaux de sautage et de pétardement, et se divisant en poudres *fortes, ordinaires* ou *lentes* (72, 62 et 40 pour 100 de *salpêtre*) [D. 367]. — En outre, des *poudres de mine lentes spéciales, grenée* ou *non grenée*, contenant 65 pour 100 de *salpêtre*, 15 de *soufre*, 10 de *charbon* et 10 de *sciure de bois*, ont été mises en vente en 1890 [*Mém. poudr. salp.* : 5 *49].

2° *Poudres anguleuses* (*forte, ordinaire* et *lente*), destinées à la confection des cartouches comprimées [D. 367].

3° *Poudres fin grain* (*forte, ordinaire* et *lente*), destinées à la fabrication des mèches de sûreté [D. 368].

*600. **Miner's Safety Explosive**. Voir *Favier*.

601. **Mineurs (Poudre des)**. Voir *Michalowski*.

V. *602. **M. N. Smokeless Powder**. Poudre *sans fumée* américaine (*Maxim-Nordenfelt*), composée de *coton-poudre gélatinisé*, dissous dans l'*éther acétique*. — Voir *Maxim*.

IV. 603. **Monakay (Explosif)**. On ajoute $\frac{1}{2}$ gille ($\frac{1}{8}$ de litre) d'*huile de kérosine* à chaque livre d'un mélange composé, à poids égaux, de *cendre*, de *noir de lampe*, de *terre*, de *nitrate de soude* et de *borax*. Au produit ainsi obtenu, on ajoute de la *nitroglycérine* en différentes proportions, suivant la force que doit avoir l'explosif. On prétend que la kérosine, carbure d'hydrogène liquide, dilue et modifie la nitroglycérine de manière à diminuer les dangers d'accident, et qu'elle augmente la force explosive du composé [T. 106].

604. Monnier (Poudre). Composition : III.

Chlorate de potasse	71	parties
Sucre	16	»
Charbon de bois	6	»
Goudron de houille	7	»

On dissout le chlorate dans 250 parties d'eau, et l'on prétend que le procédé de fabrication à l'état humide est exempt de danger [T. 106].

*605. **Montravel** ajoute du *binitrobenzol* aux ingrédients de II. la *poudre noire*. Le mélange est chauffé à 140°, température à laquelle le binitrobenzol et le soufre fondent pour former un enduit protecteur imperméable autour des grains [Ba 5031 22.4.89]. — Voir *Fortisine* et *Wiener*.

606. **Moritz**. Voir *Meyer* et *Vulcanite*.

607. **Morse (Explosif)**. Se compose de *nitroglycérine* et de IV. *résine* dissoutes dans un dissolvant commun. On fait évaporer la substance dissolvante et l'on transforme le composé explosif en une masse dure, sèche, pulvérisée ou granulée [T. 107].

608. **Moschek**. Voir *Dynamoïte*.

609. **Mowbray**. Voir *Mica*.

*610. **Müller** a fait breveter l'incorporation de 15 pour 100 de IV. VIII. sels contenant au moins 5 molécules d'eau de cristallisation (*cristaux de soude, aluns des sulfates, borate de soude* et *phosphate de soude*) dans tels explosifs qui contiennent de la *nitroglycérine* ou de l'*essence de mirbane* ou un autre équivalent du groupe aromatique des *dérivés de coaltar*. Une telle composition sert à la fabrication de cartouches plastiques destinées aux mines grisouteuses [Bf 185809 13.9.87]. — Voir *Grisou* (*Explosifs pour mines à*).

611. **Mundell**. Voir *Pertuiset*.

IV. V. *612. **Munroe-Jewell (Poudre)**. Poudre *sans fumée* américaine, analogue à la *balistite*.

II. 613. **Murtineddu (Poudres)**. Se composent de mélanges de *nitrate de soude* (avec ou sans *salpêtre*) avec du *soufre* et avec d'autres substances, comme du *charbon*, du *tan*, de la *sciure de bois*, etc.

Le mélange breveté en Angleterre se compose de :

Salpêtre	100	parties
Soufre	100	»
Sciure de bois	50	»
Crottin de cheval	50	»
Sel marin	10	»
Mélasse	4	»

Le crottin est ajouté pour donner de la cohésion à la composition. On prétend que cette poudre « ne fait pas explosion vers le haut, comme la poudre ordinaire » [D. 608; — Ba **2403** 14.10.56].

V. 614. **Muschamp** fit breveter en 1866, en association avec *Reeves*, un procédé pour réduire en pâte et pour blanchir les *chiffons* ou d'autres fibres végétales, à l'aide du *chlorure de chaux* [Ba **3293** 15.12.66].

En 1871, il prit un brevet pour réduire en pâte le *bois*, et il proposa d'utiliser les acides, employés pour imprégner la première charge de cellulose, à la fabrication de composés nitrés plus faibles, en s'en servant pour imprégner une deuxième et une troisième charge de cellulose. Pour conserver la rapidité d'explosion, il trempait le composé nitré ainsi obtenu dans une solution de *sulfate de zinc* ou *de plomb*, ou bien dans une solution d'*amidon*. Une fois les charges prêtes, on les rendait imperméables à l'aide de *collodion* ou d'une autre substance [Ba **1326** 16.5.71].

N

615. **Naphtaline nitrée**. Voir *Nitronaphtaline*.

616. Neptune (Dynamite). *Dynamite* américaine du type *n°* **2**, semblable à la *poudre Vulcain,* à la *vigorite,* etc. IV.

617. Neumeyer a proposé une poudre composée de : II.

Salpêtre	75,00	parties
Charbon	18,75	»
Fleur de soufre	6,25	»

Il préférait le charbon de *bouleau,* qu'il imprégnait de *lessive de soude.* Il prétendait que la poudre ainsi préparée brûlait sans bruit et lentement à l'air libre, tout en ayant, en vase clos, une force égale à celle de la poudre ordinaire [Ba **1636** 17.6.65].

Il a proposé ensuite un mélange formé de :

Salpêtre	72	parties
Charbon	18	»
Fleur de soufre	10	»

abandonné l'emploi de la lessive de soude, et mélangé les différentes substances avec 40 pour 100 d'eau pendant 15 minutes dans un tambour tournant. Le composé obtenu, simplement desséché, devait être prêt à l'usage [Ba **1408** 13.5.67; — D. 601].

618. Newton. Voir *Saxifragine.*

***619. Nico.** Nom de fantaisie sous lequel la poudre *Liardet* a été autorisée dans la colonie de Victoria. VI.

620. Nisser (Poudres). Composition : III. VIII.

Prussiate jaune de potasse	1,5	parties
Bichromate de potasse	2,0	»
Perchlorate ou chlorate de potasse	10,5	»
Nitrates de soude et de potasse	44,5	»
Matière végétale	6,5	»
Charbons minéral et végétal	19,5	»
Soufre	15,5	»

On obtient une poudre d'une plus grande force explosive en augmentant la dose des sels de potasse, en diminuant celle du charbon et du soufre [Ba **1939** 26.7.65].

Nisser a également proposé deux composés inexplosibles sépa-

rément, mais qui forment un explosif lorsqu'on les mélange au moment de l'emploi.

Le *composé n° 1* consistait en un mélange de *nitrate de potasse* ou *de soude* avec du *perchlorate* ou du *chlorate de potasse,* ou avec les deux ensemble, dans des proportions variant de 5 à 35 pour 100 de chacun de ces sels, suivant la force que doit avoir la poudre.

Le *composé n° 2* contenait de 25 à 35 pour 100 de *sucre* raffiné pur additionné de *soufre* sublimé et de 8 à 10 pour 100 de *matière végétale* ou de *charbon,* ou des deux ensemble. Cette poudre ne s'enflammerait pas par le choc ou le frottement [Ba **1375** 27.4.68].

Nisser a recommandé également deux composés formés de *chlorate de potasse* (55 à 60 parties), de *bitartrate de potasse* (45 à 55 parties), de *ferrocyanure de potassium* et de *charbon*. Dans le deuxième composé, le ferrocyanure de potassium était remplacé par du *soufre* [Ba **119** 14.1.70; — D. 614].

VIII. ***621. Nitramide**. Nom de fantaisie sous lequel on désigne les explosifs *Favier* ou l'*ammonite,* tels qu'on les fabrique en Espagne et en Russie.

V. **622. Nitramidine**. Nom donné par *Dumas* à la *pyroxyline* préparée avec du *papier* ou du *carton*.

623. Nitramidine. Voir *Nitroamidon*.

624. Nitraté (Coton-poudre). *Coton-poudre* additionné de *nitrates*.

VIII. **625. Nitrate d'ammoniaque (Poudre spéciale au)**. Se compose de :

Nitrate d'ammoniaque	80 parties
Chlorate de potasse	5 »
Nitroglucose	10 »
Goudron de houille	5 »

[M. XIII 245].

626. Nitrate de cuivre ammoniacal [$4AzH^3Cu(AzO^6)^2$]. Voir *Nobel* [676].

627. **Nitrate de diazobenzol.** Voir *Aniline fulminante.*

628. **Nitrate de méthyle** ($C^2H^3AzO^6$). Le nitrate de méthyle VIII.
a été proposé comme explosif liquide. Il bout à 150° F. La vapeur qu'il dégage fait explosion à environ 270° F. ou au contact d'un corps enflammé, et la détonation se communique à l'éther liquide. C'est ainsi que ce liquide a occasionné une explosion à Saint-Denis, le 12 novembre 1874. On l'emploie pour la teinture. On peut l'obtenir, soit en faisant réagir de l'*acide nitrique* sur une *solution alcoolique* de *nitrate d'urée,* soit en distillant de l'*esprit de bois* avec du *salpêtre* et de l'*acide sulfurique*.

629. **Nitrate d'étain.** Le nitrate d'étain mérite une mention VIII.
spéciale, car il y a lieu de supposer qu'il est la cause de certaines explosions, difficiles à expliquer, qui se produisent dans les usines à poudre. On a constaté à Spandau que de fréquentes inflammations de la poudre se produisaient dans les usines de l'état, pendant une certaine phase de la fabrication. En examinant les machines, on a trouvé que, dans les endroits où des pièces en bronze soudées étaient en contact permanent avec la poudre humide, la soudure était fortement corrodée et, par places, complètement détruite.

Dans les joints s'était accumulée une substance qui faisait explosion en produisant des étincelles, lorsqu'on l'enlevait à l'aide d'un ciseau. Cette substance a été l'objet d'un examen et d'expériences; on a constaté qu'en exposant à l'humidité, d'une manière continue, une mince couche de soufre et de salpêtre placée entre deux feuilles d'étain et de cuivre, le cuivre se couvrait, après un certain temps, de sulfure, et l'étain se transformait en un nitrate basique explosif. Il se produit probablement la réaction suivante : le sulfure de cuivre s'oxyde en produisant un sulfate, qui donne, avec le salpêtre, du sulfate de potasse et du nitrate de cuivre. D'autres expériences ont montré que le nitrate de cuivre peut s'unir avec l'étain des soudures pour former un nitrate basique explosif, lequel, étant insoluble, s'accumule peu à peu dans les joints et produit finalement une explosion.

A l'état pur, cette substance est une poudre cristalline blanche qui fait explosion avec violence en projetant un jet d'étincelles, lorsqu'on la chauffe rapidement ou par l'action du choc ou du

frottement. On l'obtient en répandant, en mince filet, de l'*acide nitrique* d'une densité de 1,20 sur une surface d'*étain* ou de *soudure,* ou bien en soumettant de l'étain ou de la soudure à l'action d'une solution de *nitrate de cuivre* [M. III 671 et suiv.].

VIII. 630. **Nitrate d'éthyle**. Le nitrate d'éthyle ou l'*éther nitrique ordinaire* ($C^4H^5AzO^6$) s'obtient en traitant l'*alcool* par l'*acide nitrique*. Il est liquide et bout à 172° F. On peut faire brûler une petite quantité du liquide, mais la vapeur qu'il dégage détone avec violence à environ 284° F.

631. **Nitré (Amidon, Coton, etc.)**. Voir *Amidon, Coton, etc.*

VIII. 632. **Nitrésine**. C'est une combinaison d'*acide nitrique* et de *résine,* que l'on a proposée comme matière absorbante pour les explosifs liquides [T. 107].

V. 633. **Nitroamidon,** appelé également *nitramidine, xyloïdine* et *pyroxylam*. C'est une poudre blanche obtenue en traitant l'*amidon* par les *acides* ordinaires. L'amidon ne peut être introduit directement dans le mélange des acides, car il se formerait des grumeaux et une partie de la matière se trouverait ainsi soustraite à l'action des acides. Le procédé d'*Uchatius* consiste à dissoudre 1 partie d'*amidon de pomme de terre* dans 8 parties d'*acide azotique* fumant, en refroidissant la liqueur. On fait ensuite couler par filets la solution ainsi obtenue dans 16 parties d'*acide sulfurique* concentré, en remuant constamment. Le mélange ainsi obtenu est abandonné pendant 12 heures, puis lavé, traité par une solution bouillante de *carbonate de soude* et desséché. Cette poudre est très hygroscopique, insoluble dans l'eau et l'alcool, mais soluble dans l'éther. Elle se décompose spontanément avec une grande facilité. Sèche, elle est très explosive et s'enflamme à environ 350° F. Elle ne paraît pas avoir été introduite dans la pratique [D. 670]. — Voir aussi *Nobel* [679 à 682] et *Schückher*.

634. **Nitrobenzoïque (Dynamite)**. Voir *Vending*.

635. **Nitrobenzol**. Voir *Mém. poudr. salp.* : 5 268.

*636. **Nitrocaillebotte.** On nitrifie de la *caillebotte* de la ma- III. V. VIII.
nière habituelle.

On a proposé un explosif de la composition suivante :

Caillebotte nitrée.....	30	ou	3	parties.
Nitrate ou oxalate d'ammoniaque.	55		55	»
Huile astrale.....	10		10	»
Naphtaline.....	5		5	»
Chlorate de potasse.....	»		27	»

[O. G.].

637. **Nitrocoal.** Voir *Charbon nitré.*

638. **Nitrocolle.** C'est de la *colle de poisson* ou de la *géla-* V. VIII.
tine saturée d'eau, fondue à une chaleur douce et additionnée d'une quantité suffisante d'*acide nitrique* pour ne pouvoir se solidifier par le refroidissement. On la traite ensuite par les acides ordinaires. Une autre méthode consiste à tremper de la colle forte dans de l'eau jusqu'à saturation complète. Après avoir solidifié le mélange par l'addition d'acide nitrique, on le nitrifie de la manière ordinaire et on le lave soigneusement.

*639. **Nitrocumol.** Le *cumol* $C^{18}H^{12}$ se retire des produits de V. VIII.
distillation de diverses résines. Le *nitrocumol* $C^{18}H^{11}AzO^4$ s'obtient en dissolvant le cumol dans l'*acide nitrique* concentré et se sépare, par addition d'eau, sous forme d'une huile dense et jaunâtre.

Le *binitrocumol* s'obtient en traitant le cumol par un mélange d'*acides sulfurique* et *nitrique.*

640. **Nitrodextrine.** Voir *Nobel* [679, 680 et 682].

*641. **Nitrogélatine.** Terme générique pour les composés IV. V.
dans lesquels entrent la *gélatine détonante* et un *nitrate.*

642. **Nitrogélatine ammoniacale.** Voir *Gélatine à l'ammoniaque.*

*643. **Nitrogélatine picrique.** Se compose d'une dissolution IV. V. VI.

de *nitroglycérine* et de 10 pour 100 de son poids d'*acide picrique,* gélatinisée au moyen d'une *nitrocellulose soluble.* L'explosif obtenu est employé sous cette forme ou en mélange avec une poudre quelconque [Brev. all. 1887].

644. Nitroglucose. Voir *Keil.*

645. Nitroglycérine. Voir *Mém. poudr. salp. :* 5 256.

v. VIII. ***646. Nitroglycol.** Liquide incolore, insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et dans l'éther.

Le *glycol* $C^4H^4(HO)^2$ est une substance organique de la classe des hydrocarbures et se transforme, par l'action d'un mélange d'*acides nitrique* et *sulfurique,* en glycol binitré ou *nitroglycol* $C^4H^4(AzO^6)^2$.

v. VIII. **647. Nitrogoudron.** On a obtenu ce produit en nitrifiant directement les *huiles brutes de goudron* par des acides énergiques. Les substances nitrées sont lavées, desséchées et mélangées avec des *nitrates,* avec du *chlorate de potasse* ou avec d'autres substances analogues. On essaya également le *goudron de houille ordinaire,* mais on constata qu'il était dangereux de le traiter par des acides énergiques et que l'application de ce procédé sur une grande échelle paraissait devoir échouer. En revanche, on a obtenu des composés nitrés de qualité satisfaisante en employant un acide plus faible (d'une densité de 1,53 à 1,45). Mélangés avec des nitrates, etc., ou dissous dans de l'*acide azotique concentré,* ces composés formaient un bon explosif.

On a obtenu des résultats assez semblables avec des composés nitrés formés de *poix* et d'*hydrocarbures liquides,* mais on a trouvé qu'ils exigeaient l'addition d'une plus grande quantité de corps oxygénés qu'il n'en faut pour les composés nitrés obtenus avec le goudron ou les huiles de goudron [M. II 451 et suiv.]. — Voir également *Émilite* et *Schultze.*

648. Nitrohouille. Voir *Charbon nitré.*

649. Nitrolactos. Voir *Sjöberg* [925].

*650. **Nitrolactose.** La lactose nitrée a été proposée comme substance explosive soit seule, soit en mélange, dans la proportion de 33 à 67 pour 100, avec 45 parties de *nitrate d'ammoniaque,* 10 parties de *naphtaline* et 10 parties de *paraffine*. Elle n'a pas satisfait à l'épreuve de chaleur, par défaut de pureté. — Voir aussi *Nitrosaccharose*. V.

651. **Nitroleum.** Nom par lequel on désignait autrefois la *nitroglycérine*. IV

652. **Nitroleum.** Voir *Métalline, Poriféra*.

653. **Nitrolignine.** Terme générique employé pour les *pyroxyles* fabriqués avec des *fibres ligneuses*. V.

*654. **Nitrolin.** Lin nitré. Breveté par *Bickford et Spooner* [O. G]. V.

655. **Nitroline.** Voir *Bjorkmann* (*E.-A.*) et *Bjorkmann* (*C.-G.*).

656. **Nitrolite** [*C. Lamm*]. Cet explosif se compose de : IV. V.

Nitroglycérine	99	à	94	parties.
Nitrocellulose (coton, amidon ou paille nitrés).	1	»	6	»
Nitrate d'ammoniaque, de soude ou de potasse et charbon végétal léger	50	»	150	»

On dit qu'il contient aussi du *nitrobenzol*. On a constaté que cet explosif exsude et qu'il est très hygroscopique.

*657. **Nitrolkrut.** Poudre brevetée en Suède par *J.-A. Berg,* en 1876, et composée de 5 à 40 parties de *nitroglycérine,* 5 à 50 de *chlorate de potasse* et 25 à 75 de *nitrate de potasse* ou *de soude*. On peut remplacer la nitroglycérine par un *hydrocarbure nitré*. IV.

658. **Nitromagnite** (ou *Dynamagnite*). Cet explosif se compose essentiellement de *nitroglycérine* absorbée dans de la *magnésie alba* (mélange d'*hydrocarbonates de magnésie*). La fabri- IV.

cation de cet explosif fut autorisée en Angleterre en 1879; mais comme, par décision de la Chambre des lords, les brevets de Nobel, qui existaient alors, s'étendaient à tous les explosifs de la classe des dynamites, on ne s'est pas occupé d'établir une fabrique de nitromagnite. Elle a été présentée par M. *E. Jones de Caerphilly* et paraissait promettre des avantages, « car la magnésie alba paraît être un meilleur absorbant pour la nitroglycérine que la kieselguhr même, tandis que le volume des gaz dégagés par la détonation de la nitromagnite pourrait bien être plus grand par suite du dégagement d'acide carbonique auquel donne naissance le carbonate de magnésie à la température à laquelle il se trouve exposé » [Abel, *Sur les agents explosifs; — Proc. of C. E.*, vol. LXI, 1879-80; — Ba 3954 8.10.78].

Cet explosif est employé en Amérique sous le nom de *Hercules Powder*.

*659. **Nitromagnite**. Voir *Fulgurite*.

v. 660. **Nitromannite** [$C^{12}H^{8}(AzO^{6})^{6}$]. S'obtient en traitant la *mannite* ($C^{12}H^{14}O^{12}$) par les acides ordinaires. La mannite, ou sucre de manne, se trouve dans un grand nombre de végétaux, mais on la prépare ordinairement avec de la *manne,* suc saccharin extrait de deux espèces de frêne.

La nitromannite forme des cristaux en forme d'aiguilles blanches, insolubles dans l'eau, mais solubles dans l'éther et l'alcool. Rapidement chauffée, elle s'enflamme à 374° F. environ et fait explosion à 590° F. environ. Elle est plus sensible au frottement et au choc que la nitroglycérine. Le sulfure d'ammonium la ramène à la mannite. A moins qu'elle ne soit pure, elle est sujette à se décomposer spontanément.

On peut la considérer comme un éther nitrique de la mannite, celle-ci étant un alcool hexatomique. [D. 672; — *Mém. poudr. salp.* : 5 73].

v. 661. **Nitromélasse**. On prépare cet explosif en nitrifiant 380 parties de *mélasse* par 1000 parties d'*acide nitrique* fumant et par 2000 parties d'*acide sulfurique* concentré. Après lavage, le produit ainsi obtenu est un précipité gris jaune ou blanchâtre.

Par un traitement spécial, on obtient un composé nitré liquide [Ba **1883** 13.4.83].

662. Nitronaphtaline. Cette substance résulte de l'action de l'*acide nitrique* sur la *naphtaline* [$C^{20}H^{8}$]; les *mono-, bi-* et *trinitronaphtalines* sont connues [*Mém. poudr. salpˢ :* **5** 75]. v.

Felhoen a pris un brevet pour un explosif composé de 10 parties de nitronaphtaline et des ingrédients bruts de la poudre noire, savoir :

Nitronaphtaline.....	10	parties
Salpêtre.....	75	»
Charbon.....	12,5	»
Soufre.....	12,5	»

Il a déclaré avoir obtenu une mononitronaphtaline [$C^{20}H^{7}.AzO^{4}$] contenant une petite quantité de binitronaphtaline [$C^{20}H^{6}.2AzO^{4}$], en soumettant 1 partie de naphtaline à l'action de 4 parties d'acide nitrique d'une densité de 1,40 pendant 5 jours, avec ou sans influence de la chaleur [Ba **2266** 9.6.79].

663. Nitropyline. Voir *Volkman.*

664. Nitrosaccharose. On l'obtient en nitrifiant du *sucre.* C'est une substance explosive blanche, sablonneuse, soluble dans l'alcool et l'éther. La nitrosaccharose préparée avec du *sucre de canne* ne cristallise pas dans la solution, tandis que celle que l'on prépare avec du *sucre de lait* y cristallise. Elle a été employée pour les capsules à percussion, car elle est même plus forte et d'une action plus rapide que la nitroglycérine; mais, en raison des difficultés que présente sa fabrication, de sa grande sensibilité, de ses propriétés hygroscopiques et de sa tendance à se décomposer, elle n'est guère employée, directement du moins, comme explosif de mine [D. 671; — M. II 446]. — Voir aussi *Glukodine.* v.

665. Nitrotoluol. *Mowbray* a pris un brevet pour un mélange formé de 3 parties de *nitrotoluol* et de 7 parties de *nitroglycérine,* mais il déclare qu'il prépare le nitrotoluol « par le même procédé que la nitroglycérine ». Il paraît y avoir quelque confusion ici entre deux hydrocarbures, le *benzol* ($C^{12}H^{6}$) et le toluol IV. v.

($C^{14}H^{8}$). Il indique également un mélange formé des deux ingrédients dans la proportion de 1 à 3. Il déclare que cet explosif est très sûr, mais comme c'est un liquide qui ne se congèle pas facilement, le nitrotoluol (ou nitrobenzol?) peut s'évaporer et laisser la nitroglycérine seule, s'il se produit une fuite dans le récipient [T. 101; — *Mowbray,* 38].

V. VIII. 666. **Nitrotourbe.** C'est le produit que l'on obtient en traitant la *tourbe* par les *acides* ordinaires. La partie humide de la tourbe est transformée en un liquide brun foncé semblable à celui que l'on obtient en nitrifiant les plus lourdes huiles de goudron, tandis que les fibres végétales finement divisées sont transformées en un autre composé nitré. La tourbe de formation récente produisant une réaction violente lorsqu'on la traite par un acide énergique, on a donné la préférence à une variété de tourbe solide de formation relativement ancienne.

De même que les goudrons nitrés et les autres produits analogues, la tourbe nitrée a la même densité que l'eau. Elle a une forte odeur aromatique, surtout pendant la combustion. Elle brûle à l'air libre avec une flamme fumante [M. II 453].

IV. *667. **Nobel** a proposé un mélange de 100 parties de *poudre noire* et de 40 parties de *nitroglycérine,* préparé, immédiatement avant l'emploi, dans des boîtes en tôle de zinc, et destiné à assurer l'explosion des cartouches de nitroglycérine [D. 694 et 720].

IV. 668. **Nobel** a proposé de mélanger la *nitroglycérine* ou les *nitrates d'éthyle* et *de méthyle* avec de la *poudre noire,* du *coton-poudre* ou d'autres substances analogues [Ba 2359 24.2.63].

II. IV. V. VI. 669. **Nobel** a proposé, pour les usages balistiques, une poudre composée de 80 parties de *salpêtre,* 6 parties ou moins de *soufre* et 14 parties de *charbon*. Pour rendre l'action plus rapide, il fallait ajouter à cette composition : *a*) de la *poudre noire ordinaire*, ou *b*) du *coton-poudre comprimé,* ou *c*) des quantités égales de *nitrate de potasse* et de *picrate d'ammoniaque* avec un peu de *gomme.*

Pour les travaux de mine, la *poudre de mine ordinaire* servait

de base, ou bien de la *poudre au nitrate de soude,* avec addition de : *a*) parties égales de *picrate de plomb* ou de *potasse,* et de *salpêtre* avec un peu de *gomme,* ou *b*) *nitroglycérine gélatinisée,* ou un *autre composé de nitroglycérine,* ou *c*) *coton-poudre comprimé.*

Il exclut complètement les poudres au chlorate de potasse, comme trop dangereuses [Ba **226** 20.1.79].

670. Nobel a recommandé d'employer un mélange de sels mé- II. III. IV. V.
talliques riches en oxygène, comme les *nitrates,* les *chlorates* ou *perchlorates,* avec un des *composés nitrés de la glycérine, du sucre* ou *de la cellulose.* Il indique les *sels de baryte,* de *potasse* et de *soude.* Pour les travaux de mine, il recommande un mélange formé de 75 à 80 pour 100 d'un de ces sels et de 20 à 25 pour 100 de nitroglycérine. Pour les armes à feu, il propose d'ajouter 5 à 15 pour 100 de nitroglycérine, ou bien 10 à 30 pour 100 de nitroglycérine épaissie avec de la *nitrocellulose* ou avec du *sucre nitré,* ou bien avec de la *cellulose pure* [M. XIII 246].

***671. Nobel** a fait breveter l'emploi comme explosifs de *li-* VIII
quides combustibles tenant en dissolution divers *nitrates* ou autres sels dégageant facilement de l'oxygène, avec ou sans addition de *nitrates* ou sels analogues en poudre fine, le produit obtenu pouvant être mélangé avec d'autres substances explosives [Bf **161269** 29.3.84].

***672. Nobel** a fait breveter : IV.

1° L'abaissement du point de congélation de la *nitroglycérine* en y dissolvant un autre corps;

2° L'incorporation avec le fluide explosif susmentionné de *nitrates* ou *chlorates* servant à compléter sa combinaison explosive et à absorber le liquide de manière à former un explosif solide;

3° L'incorporation avec ce fluide explosif de toute autre matière poreuse pouvant l'absorber.

[Bf **170290** 24.7.85].

***673. Nobel** a fait breveter l'application, comme explosif, du II
nitrate d'ammoniaque, sans addition de matière combustible ca-

pable d'augmenter sa force brisante, ou avec addition d'une substance non explosive par elle-même et n'augmentant pas la force brisante, le nitrate pouvant être fondu et coulé en cylindres ou morceaux d'une autre forme [Bf **170291** 24.7.85, 27.7.85].

II. III. *674. **Nobel** a fait breveter :

1° L'emploi comme poudre de tir des *nitrates, nitrites, chlorates* ou *perchlorates* à *base métallique* ou *ammoniacale,* sans addition de matière combustible incorporée avec lesdites substances;

2° L'emploi desdites substances comme poudres de tir à l'état *fondu* et coulées en formes quelconques;

3° L'emploi desdites substances comme poudres de tir à l'état de poudre *comprimée* ou *granulée,* avec ou sans addition de *gomme* pour en augmenter la consistance;

4° Le mélange intime avec la susdite poudre comprimée ou granulée de *charbon* sans soufre ou d'une autre matière combustible, en tant que le composé résultant est d'une combustion trop lente pour pouvoir servir de poudre de tir sans être activée par une charge de poudre vive;

5° L'application d'une charge de poudre vive pour actionner les matières ci-dessus mentionnées d'apparence inerte.

[Bf **170292** 24.7.85, **170340** 27.7.85].

VIII. *675. **Nobel** a fait breveter :

1° L'emploi pour le chargement d'obus et de torpilles d'un *explosif gazeux* et *comprimé;*

2° L'emploi pour torpilles et obus d'*oxygène* ou gaz équivalent comprimé avec addition d'un *corps combustible gazeux, liquide* ou *solide,* et en contact avec le gaz ou séparé par une cloison;

3° L'emploi d'oxygène ou autre gaz comprimé dans un obus ou torpille conjointement avec des matières explosives;

4° La production d'une pression dans la chambre d'un obus qui contrebalance la pression exercée par la poudre de tir et augmente ainsi la solidité de l'obus (?);

5° La matière explosible résultant de mélanges, en proportions explosibles, d'un oxydant normalement gazeux et fortement comprimé ou de deux corps gazeux dont l'un est oxydant et l'autre combustible, avec un combustible liquide ou solide ou avec des corps explosifs poreux;

6° La matière explosible résultant de mélanges d'un oxydant pulvérulent ou poreux avec un corps gazeux combustible très comprimé et restant gazeux sous cette compression;

7° Le chargement d'obus et torpilles avec des matières explosibles dont une partie ou le total est à l'état de gaz comprimé.

[Bf **179289** 27.10.86, 14.6.87].

*676. **Nobel** a fait breveter : VIII.

1° L'application aux usages explosifs de l'*azotate de cuivre ammoniacal* seul, ou intimement mélangé avec du *charbon* ou substances riches en carbone ou avec d'autres explosifs;

2° L'application spéciale de l'azotate de cuivre ammoniacal comme explosif des mines de houille dans le but d'éviter l'inflammation du grisou par les coups de mine (voir *Grisou*);

3° La détonation de l'azotate de cuivre ammoniacal par amorces à fulminate.

Ce corps a pour formule $4AzH^3Cu(AzO^6)^2$, et son explosion produirait une très courte flamme d'une température relativement peu élevée [Bf **184128** 9.6.87; — Ba **16920** 8.12.87].

*677. **Nobel** a fait breveter : VIII.

1° La *granulation* des matières explosives ou fulminantes en tant qu'appliquées au chargement de détonateurs pour dynamites et autres matières explosibles;

2° Un sertissage spécial des alvéoles pour détonateurs, dans le but d'enfermer davantage la charge;

3° Un détonateur à double alvéole dont l'une chargée de *fulminate de mercure* ou autre fulminate très vif, et l'autre d'*acide picrique* ou autre explosif devenant foudroyant sous l'action du fulminate.

[Bf **184129** 9.6.87].

*678. **Nobel** a fait breveter des composés formés de *nitrate* II. VI. VIII. *de baryte, charbon* et *picrate d'ammoniaque* ou *phosphore amorphe* [Bf **185180** 4.8.87; — Ba **1469** 31.1.88]. — Il a proposé également un mélange de 3 parties de *nitrate* avec 1 de *picrate,* la masse étant durcie avec 0,5 pour 100 de *gomme* ou de *dextrine* [Ba **10722** 24.7.88]. — Voir *Picriques* (*Poudres*).

*679. **Nobel** a fait breveter : IV. V.

1° La poudre composée de *cellulose nitrée, amidon nitré* ou *dextrine*

nitrée dissous dans de la *nitroglycérine,* avec ou sans addition de *camphre* ou autre matière servant à faciliter la dissolution;

2° La division en grains de la matière, afin d'en faciliter la combustion explosive, laquelle se fait sans dégagement de fumée.

[Bf **185179** 4.8.87].

v. *680. **Nobel** a fait breveter les poudres obtenues en dissolvant diverses celluloses nitrées (*corozzo, écorce de la noix de coca,* bois très durs et denses comme le *bois d'ébène,* le *thuya,* le *gayac,* le *teck*) ou bien l'*amidon* ou la *dextrine nitrée,* en les agglomérant par laminage ou pression, en évaporant ou extrayant ensuite le dissolvant et en granulant le produit ainsi obtenu [Bf **186801** 5.11.87].

iv. v. *681. **Nobel** a proposé un composé de 100 parties de *nitroglycérine,* 10 parties de *camphre,* 200 parties de *benzol* et 50 parties de *nitrocellulose soluble.* Le benzol s'évapore, tandis que la masse pâteuse est mélangée en passant par des cylindres chauffés à la vapeur à 50° ou 60° C.

Un autre mélange est composé de 100 parties de *nitroglycérine,* 10 à 25 parties de *camphre,* 200 à 400 parties d'*acétate d'amyle* et 200 parties de *nitrocellulose soluble.* On peut substituer de l'*amidon nitré* à une partie de la nitroglycérine [Ba **1471** 31.1.88].

ii. iii. v. vi. *682. **Nobel** incorpore le *nitroamidon* ou la *nitrodextrine* avec de la *nitrocellulose* et dissout le tout dans de l'*acétone* ou dans un autre dissolvant analogue. L'acétone est éliminée par distillation et recueillie. On peut incorporer à l'acétone des *picrates,* des *chlorates* et des *nitrates* [Ba **6560** 2.5.88].

viii. *683. **Nobel** a fait breveter :

Une *cartouche* dont l'explosif se compose d'une *plaque* ou *feuille* lisse ou gaufrée ou cannelée, ou à surface très rugueuse, percée ou non de trous pour augmenter la surface de combustion explosive, ladite plaque ou feuille étant contournée ou enroulée de manière à pouvoir être facilement introduite dans la douille de la cartouche ou dans la chambre à poudre de l'arme.

[Bf **200045** 6.8.89].

*684. **Nobel** a fait breveter (pour compléter son brevet 185179 IV. V.
4.8.87) la série des opérations que comporte la fabrication des poudres sans fumée composées de *nitroglycérine* et de *cellulose nitrée,* ainsi que l'élimination ultérieure d'une proportion quelconque de la nitroglycérine par un dissolvant approprié (*éther, chloroforme, alcool méthylique* étendu d'eau) et l'addition de $\frac{1}{2}$ à 1 pour 100 de *diphénylamine* ou de produits analogues pour augmenter la stabilité chimique de la poudre [Bf 199091 20.6.89, 22.4.90].

685. **Nobel**. Voir *Actien-Gesellschaft Dynamit Nobel, Charbon* (*Dynamite au*), *Détonateurs, Sûreté* (*Fusée de*).

*686. **Nobel** (**Dynamites**). Type des *dynamites* n° 1, conte- IV.
nant 75 à 77 pour 100 de *nitroglycérine* et 25 à 23 de *kieselguhr* [D. 700].

687. **Noble** (**Poudres**). Ces poudres ont été soumises, en III.
1880, à l'examen de la Commission française des substances explosives avec les compositions suivantes :

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Chlorate de potasse.....	100	100	100	50	100	100	100	100
Sucre..... ...	20	22	24	20	20	20	10	15
Prussiate de potasse.....	16	18	22	8	»	8	16	16
Amidon.....	1	»	»	2	2	2	2	1
Camphre.....	2	»	»	2	2	2	2	1
Soufre.....	»	»	»	8	»	»	»	»
Benzoïne.....	»	»	»	»	16	8	»	»
Salpêtre.....	»	»	»	»	»	»	50	50
Charbon..... ...	»	»	»	»	»	»	10	5

Comme on pouvait le prévoir, ces poudres étaient d'une sensibilité dangereuse. L'addition de camphre n'a pas eu pour effet de diminuer leur sensibilité, comme il arrive pour la poudre noire et pour les dynamites [*Mém. poudr. salp.* : 1 457].

688. **Noire** (**Dynamite**). C'est un mélange de *coke* pulvérisé, IV.
de *sable* et d'environ 45 pour 100 de *nitroglycérine*. Elle serait plus dangereuse que la dynamite ordinaire [D. 719].

*689. **Noires (Poudres)**. Voir *Chasse, Commerce extérieur, Mine (Poudres de), etc.*

I. *690. **Nordenfelt** a fait breveter :

1° Une poudre moulée en blocs avec des entailles sur deux faces opposées;

2° Une poudre moulée en blocs prismatiques avec des bouts convexes et avec des entailles sur deux faces opposées.

[Bf **160940** 14.3.84].

*691. **Nordenfelt**. Voir *M. N. Smokeless Powder.*

V. 692. **Nordenfelt et Meurling** ont proposé de préparer une poudre à canon dans la composition de laquelle entrait une substance friable, obtenue en traitant du *coton* ou d'autres *fibres ligneuses* par l'*acide chlorhydrique*. Cette substance est soigneusement mélangée avec la quantité voulue d'une solution saturée de *soufre* dans du *sulfure de carbone,* dans un récipient fermé, muni d'un agitateur. Le mélange desséché de carbone et de soufre est saturé d'une solution aqueuse de *salpêtre,* et le produit obtenu est séché et fini de la manière habituelle.

La substance friable dont il est question plus haut paraîtrait être de l'*hydrocellulose* d'après le procédé Girard, ou de la *fulminose,* d'après le procédé Blondeau. C'est une modification isomère de la cellulose, qui se produit par l'action des acides ou de la chaleur sur cette dernière substance. Elle est extrêmement friable [M. I 311, X 195; — Ba **6514-6515** 18.4.84; — *Dictionnaire de Chimie* de Watts].

693. **Norrbin**. Voir *Ammoniaque (Dynamite à l')*.

694. **Nysébastine.** Voir *Sébastine.*

O

*695. **Oarite.** Poudre proposée par *Trench* et paraissant com- IV V.
posée d'un mélange de *nitrates* et de *fibres végétales nitrées* avec la *nitroglycérine*.

696. **Ohlson.** Voir *Ammoniaque* (*Dynamite à l'*).

697. **Oliver** a proposé de remplacer dans la *poudre noire* le III.
charbon par la *tourbe,* et, au besoin, le soufre par du *chlorate de potasse* mélangé avec de la *cire d'abeilles,* du *suif* ou de la *résine*. Les substances devaient être mélangées à l'état humide [Ba **1800** 10.6.69].

*698. **O.P.C. Safety Compound.** Voir *Orientale* (*Poudre*).

*699. *o* **Pulver.** Poudre *noire* à canon, autrichienne (grains I.
de $1^{mm},2$ à $1^{mm},5$).

*700. **Orange lightning Powder.** Poudre de chasse analogue V.
aux poudres *E. C.*

701. **Or fulminant.** Précipité qui fait explosion avec violence VIII.
et qu'on obtient en ajoutant de l'*ammoniaque* à du *trichlorure d'or*. C'est un composé d'ammonium dans lequel une partie de l'hydrogène de l'ammonium est remplacée par de l'or.

702. **Oriasite.** Ce n'est autre chose que la *méganite,* avec IV. V.
cette différence qu'elle ne contient que de la matière ligneuse seulement, sans ivoire végétal.

703. **Orientale (Poudre).** Se compose d'un mélange de *tan,* II. VIII.
d'*écorce,* de *sciure de bois* ou d'une *autre matière ligneuse* imprégnée d'un *chlorate* ou d'un *nitrate,* et de *poudre noire* ou d'un *autre explosif analogue*. Le tan épuisé est préféré [T. 100].

VIII. *704. **Orioli** a présenté, en 1881, à la Commission des substances explosives, une prétendue *poudre sans fumée*. Ses assertions n'ont pas paru justifiées [*Mém. poudr. salp.* : 1 460].

VIII. *705. **Oxalates métalliques**. Il existe un certain nombre de composés non azotés, formés depuis les éléments en vertu d'une suite de réactions exothermiques, qui constituent de véritables explosifs. Tels sont les *oxalates d'argent* et *de mercure,* qui détonent lorsqu'ils sont brusquement échauffés ou soumis à un choc violent [B. 2 123].

II. 706. **Oxland (Poudre)**. Composition :

Nitrate de soude	85	parties
Soufre	16	»
Charbon	18	»
Houille ou poussier de charbon	20	»

On débarrasse le nitrate de soude du sel brut en précipitant les sels de chaux et de magnésie à l'aide du carbonate de soude et en évaporant la solution filtrée [Ba **1740** 18.7.60; — D. 609].

VI. VII. 707. **Oxonite**. Mélange d'*acide picrique* et d'*acide nitrique*. L'acide picrique, quelquefois additionné d'un *nitrate,* est introduit dans une gargousse en calicot, qui contient également de l'acide nitrique dans un tube de verre hermétiquement fermé. Avant de mettre la cartouche dans le trou de mine, on doit briser ce tube. Cet explosif a causé un sérieux accident à l'inventeur et un autre accident au mois d'août 1884. On était en train de faire des expériences dans des trous de mines pratiqués, fort heureusement, dans de l'argile molle. Une cartouche fit explosion pendant qu'on la tamponnait et blessa sérieusement les opérateurs. L'accident a sans doute été causé parce qu'on a négligé de prendre des précautions pour empêcher le contact de l'acide nitrique avec la charge de la capsule détonante qui, mise en communication avec une mèche, était destinée à mettre le feu à la cartouche [Ba **2428** 12.5.83]. — Voir *Emmens*.

708. **Oxydine**. Voir *Turpin* [994].

P

*709. **PA (Poudre)**. Poudre *prismatique noire,* réglemen- I.
taire dans la marine française et ajoutée comme appoint au centre du culot des gargousses de *poudres brunes* pour supprimer les retards d'inflammation dans le tir [*Mém. poudr. salp.* : 4 *32].

710. **Paille (Dynamite-)**. Voir *Dynamite-paille.*

711. **Paina**. Voir *Davies.*

*712. **Paléina**. S'obtient en nitrifiant de minces plaques de IV. V.
pulpe de paille qu'on lave et qu'on additionne d'une solution de *salpêtre,* de *dextrine* et de *charbon de bois dur* broyé. A l'état sec elle ressemble à de petits disques de carton. Elle absorbe la nitroglycérine. — Voir *Dynamite-paille.*

713. **Paléine**. Voir *Dynamite-paille.*

*714. **Pancera**. Voir *Diorrexine.*

715. **Panclastite**. On désigne sous ce nom différents mélanges VII.
proposés par M. *E. Turpin.* Il recommande de mélanger du *tétroxyde d'azote* liquide, ou du *peroxyde d'azote* AzO^4 (1) avec du *sulfure de carbone,* du *benzol,* du *pétrole,* de l'*éther,* des *huiles minérales volatiles,* ou avec d'autres carbures d'hydrogène liquides ou solides. Il recommande spécialement un mélange de $2CS^2 + 3AzO^4$; mais l'emploi de pareilles substances, dégageant toutes les deux des vapeurs excessivement délétères, constitue une sérieuse objection à l'usage de ce mélange dans une mine ou

(1) AzO^4 est un gaz qui se solidifie à basse température. Les cristaux fondent à — 9°C., mais ne recristallisent qu'à une température sensiblement inférieure. Un peu au-dessous de — 9°C., le liquide est incolore, mais il prend graduellement une teinte jaune orangé, et bout à 22°C. Il émet des vapeurs d'un grand pouvoir irritant et fort dangereuses.

dans un autre espace fermé; le gaz dégagé par le liquide AzO^4 est particulièrement dangereux [Ba **4544** 1881, **1461** 27.3.82; — *Mém. poudr. salp.* : **1** 473 et 485, **2** 575, 577, 589, 612; — Bf **146497** 22.12.81, **147676** 2.3.82].

M. Turpin a fait breveter également :

1° L'application, à l'aide de mélanges et d'appareils spéciaux, de la propriété comburante du *peroxyde d'azote,* à l'état liquide ou gazeux, à la production de lumière (*sélénophanite* et *héliophanite*), de chaleur ou de force, quel que soit le mode d'inflammation [Bf **146543** 26.12.81];

2° La construction de projectiles creux et de cartouches-amorces pour l'emploi de la panclastite [Bf **146565** 27.12.81];

3° Un procédé de rectification du *peroxyde d'azote* au moyen de l'*acide sulfurique* [Bf **146637** 27.12.81].

Voir aussi *Turpin* [987 à 995].

IV. *716. **Pantopollite.** Dynamite à bon marché, fabriquée à Opladen et composée de *nitroglycérine* simplement mélangée avec de la *naphtaline nitrée* ou non.

717. **Papier d'artifice.** Voir *Artifice.*

*718. **Papier explosif.** Voir *Emmens, Peley* et *Prentice.*

III. 719. **Papier explosif.** Presque identique au *dynamogène* et aux autres explosifs analogues, consistant en rouleaux de papier imprégnés d'un composé chloraté.

Il se compose de :

Salpêtre	5	parties
Chlorate de potasse	5	»
Charbon de bois ou poussier de charbon	1	»
Sciure fine de bois dur	1	»

avec addition d'un peu de *gomme* pour donner de la cohésion et d'une quantité suffisante d'*eau* pour former une pâte [M. VII 115].

720. **Papier fulminant.** Voir *Pyropapier.*

721. Papier-poudre. Voir *Melland.*

***722. Paraffiné (Coton-poudre).** La Commission des substances explosives a étudié des échantillons de *coton-poudre* contenant 5 à 20 pour 100 de *paraffine*, le taux de paraffine devant être insuffisant pour empêcher la détonation par la capsule fulminante réglementaire, mais suffisant pour empêcher l'explosion sous le choc de la balle [*Mém. poudr. salp.* : 1 483, 2 586 et 605, 5 73]. V.

***723. Paraffinée (Poudre A $\frac{8}{11}$).** Voir *A* $\frac{8}{11}$.

724. Parone (Explosif). Se compose de 2 parties de *chlorate de potasse* pour 1 partie de *sulfure de carbone.* Il a été essayé en Italie dans un mortier de 24^{cm} qui a éclaté au premier coup. C'est en réalité une variété de l'explosif *rack-à-rock* [M. XV 574]. III.

***725. Parozzani.** Voir *Pyrocoton.*

726. Patent Gunpowder (*Poudre à canon brevetée*). C'était une poudre à base de bois (*nitrolignine*) fabriquée autrefois à Glyn-Ceiriog, en Galles. Le naufrage du *Great Queensland,* en 1876, a été attribué par la Commission des naufrages à la présence, à bord du navire, d'une certaine quantité de cette poudre qui se serait enflammée spontanément à cause des impuretés qu'elle contenait. V.

727. Pattison. Mélange des *explosifs au chlorate de potasse* avec de la *farine* grasse ou avec du *son,* ajoutés en vue de diminuer leur sensibilité [Ba 810 24.2.80]. III.

728. Paulilles (Dynamites de). Voir *Blanches, Grises* (*Dynamites*).

***729. PB_1 (Poudre).** Poudre *prismatique brune* réglementaire dans la marine française pour le tir des canons de 37^{cm} à 42^{cm} (22 à 23 grains au kilogramme) [*Mém. poudr. salp.* : 4 *21, 5 *3]. — Voir *Brunes* (*Poudres*). I

I. *730. **PB_2 (Poudre)**. Poudre *prismatique brune* réglementaire dans la marine française pour le tir des canons de 24^{cm} à 34^{cm} (22,5 à 24 grains au kilogramme) [*Mém. poudr. salp.* : 4 *24, 5 *3]. — Voir *Brunes* (*Poudres*).

I. *731. **PB_3 (Poudre)**. Poudre *prismatique brune* réglementaire dans la marine française pour le tir des canons de 14^{cm} et de 16^{cm} (22 à 23 grains au kilogramme) [*Mém. poudr. salp.* : 4 *25, 5 *3]. — Voir *Brunes* (*Poudres*).

I. *732. *pb* **Pulver**. Poudre *prismatique brune* autrichienne, mod. 1885.

I. *733. **Pebble Powder** (*Poudre cailloux*). Poudre *noire* anglaise fabriquée, dès 1865, pour les canons des divers calibres [D. 345]. — Voir *P*, P_2 et *RLG*.

III. 734. **Peley (Papier explosif)**. C'est du *papier buvard* ordinaire imprégné du mélange suivant :

Chlorate de potasse	67	parties
Prussiate jaune de potasse	17	»
Sel raffiné	35	»
Charbon de bois	17	»
Amidon	10	»

Le tout est mélangé avec 10 fois son poids d'*eau*. Le papier est desséché, coupé en bandes et enroulé en forme de cartouches [*R. A. I. Proc.*, février 1886].

I. *735. **Pellet Powder** (*Poudre balle*). Poudre cylindrique moulée, employée en Angleterre pour les canons de gros calibre (avant la *poudre pebble*) et fabriquée à l'aide des presses *Anderson* [D. 360].

V. VIII. *736. **Pellier** a fait breveter, sous le nom de *résine explosible*, un produit composé de *sucres de canne*, de *betteraves*, etc., mélangés ou séparés, et réduits en poussière, puis soumis à l'action de l'acide azotique à 40° ou 52° et de l'acide sulfurique à 66°, lavés à

l'eau, combinés avec la chaux et soumis à l'action de l'acide chlorhydrique pur ou mélangé d'eau.

Cette matière une fois sèche se présente sous la forme d'une poussière jaunâtre [Bf **180555** 29.12.86; — *Mém. poudr. salp.* : **2** 640].

737. **Pellier (Poudre)**. Cette poudre a été soumise à l'examen de la Commission des substances explosives, en 1884. Elle se compose de : III.

Chlorate de potasse	100 parties
Salpêtre	12 ½ »
Soufre	12 ½ »
Sciure de bois fine	9 »
Extrait de bois de campêche	15 »

Elle est identique à la poudre *Kellow et Short*.

Le même inventeur avait soumis antérieurement, en 1882, à la même Commission, deux poudres analogues de la composition suivante :

	Pour travaux de mine.	Pour canons.
Chlorate de potasse	44 à 47	40
Prussiate jaune de potasse	38 à 36	15
Fleur de soufre	18 à 17	10
Sucre	»	10
Charbon	»	5
Salpêtre	»	15

Ces deux poudres étaient naturellement fort sensibles [*Mém. poudr. salp.* : **1** 475, **2** 595].

*738. **Penniman** a proposé de préserver le *nitrate d'ammoniaque* de la déliquescence par une enveloppe de *pétrole* ou par les *huiles* ou produits doux et visqueux de ce dernier [Bf **166946** 10.2.85]. II.

739. **Péralite**. Poudre à gros grains composée de : II.

Salpêtre	63 parties
Charbon	30 »
Sulfure d'antimoine	6 »

II. *740. **Père** a proposé l'emploi de la *paille de lin* carbonisée par les procédés de distillation dans des cylindres fixes ou mobiles ou en vase clos [Bf **179380** 5.11.86].

VIII. 741. **Perkins** a recommandé d'employer, pour les poudres fulminantes, du *phosphore amorphe* mélangé avec des *sulfures métalliques,* surtout celui d'*antimoine,* et avec du *chlorate* ou du *nitrate de potasse* [Ba **898** 28.3.70].

III. 742. **Pertuiset (Poudre)**. Composition :

Chlorate de potasse.....	2 parties
Soufre.....	1 »
Poudre de chasse.....	$\frac{1}{8}$ »
Charbon animal.....	$\frac{1}{50}$ »

On la recommande principalement comme poudre détonante, ou pour charger les boulets ou les bombes [Ba **2837** 9.10.67, **2066** 21.7.70].

*743. **Pesci**. Voir *Maïzite*.

VIII. 744. **Pétards de mine** [*Daddow*]. Identiques aux fusées de mine de *Hunter* [Ba **1558** 2.5.74]. On en fait un grand usage dans les mines de fer du district de Cleveland.

V. *745. **Pétragite**. Mélange de 38,6 parties de *mélasse nitrée,* 5 parties de *sciure de bois nitrée* et 56,4 parties de *salpêtre*. Cet explosif a été proposé par *Doutrelepont et Schreiber*. On lui attribue la propriété d'être incongelable.

II. *746. **Pétralite**. Se compose de :

Nitrate de potasse ou de soude.....	64 parties
Bois ou charbon nitré.....	30 »
Carbonate d'ammoniaque.....	6 »

Explosif fabriqué à Fahlun, en 1879 [*Colliery Guardian,* 22.6.89].

*747. **Pétralite**. Voir *Liesch*.

748. Pétralithe. Cet explosif se compose de : IV.

Nitroglycérine	640	parties
Nitrate d'ammoniaque, de soude ou d'urée	120	»
Palmitinate de cétyle (partie solide du blanc de baleine).	$2\frac{1}{2}$	»
Carbonate de chaux	$2\frac{1}{2}$	»
Charbon animal ou végétal préparé	230	»
Bicarbonate de soude	5	»

Ce curieux mélange a été proposé en Angleterre dès 1882; il fut breveté, mais on ne paraît pas s'être efforcé de l'introduire dans la pratique [Ba **2302** 25.5.81].

Cet explosif a été présenté à la Commission française des substances explosives comme composé de :

Nitroglycérine	60	parties
Nitrate de potasse, de soude ou d'ammoniaque.	16	»
Spermaceti	1	»
Carbonate de chaux	1	»
Lignine	6	»
Charbon spécial	16	»

[Ba **2149** 25.5.80; — *Mém. poudr. salp.* : 1 459].

749. Pétrofracteur. Se compose de : III. V.

Nitrobenzine	10	parties
Chlorate de potasse	67	»
Nitrate de potasse	20	»
Sulfure d'antimoine	3	»

En général, le pétrofracteur ressemble à la *kinétite,* mais il ne contient pas de coton nitré. Cet explosif a été l'objet d'un rapport favorable de la part d'une Commission militaire autrichienne [*Journ. of Soc. Chem. Inst.* : vol. VI, p. 5].

750. Petry. Voir *Dynamogène* et *Kinétite*.

***751. P Gunpowder**. Variété de *poudre pebble* (176 grains par kilogramme), employée en Angleterre pour les charges réduites des canons rayés de 30^{cm} et de 25^{T} se chargeant par la bouche. I.

***752. P_2 Gunpowder**. Variété de *poudre pebble* (15 à 18 I.

grains par kilogramme), employée en Angleterre pour le tir des canons rayés de 30^{cm} et de 34^{cm} se chargeant par la bouche, et des premiers canons de 152^{mm} se chargeant par la culasse.

VI. *753. **Picrate d'ammoniaque (Poudres au).** La Commission des substances explosives a étudié pour le fusil modèle 1874, pour les canons de 90^{mm} et de 155^{mm} et pour les canons-revolvers de 37^{mm} et de 47^{mm}, divers types de poudre correspondant au dosage de 43 parties de *picrate d'ammoniaque* pour 57 de *salpêtre* [*Mém. poudr. salp.* : 1 484, 2 15 et 587]. — Voir *Acide picrique* (*Poudre à l'*) et *Brugère*.

VI. 754. **Picrate de potasse.** On a essayé, en Autriche et en Amérique, d'employer le *picrate de potasse* pour charger les projectiles creux ; mais, comme il ne contient pas une quantité d'oxygène suffisante pour brûler tout son carbone, on doit lui ajouter un *corps oxydant* quelconque. C'est une substance d'un jaune doré, cristallisant en aiguilles. Un coup violent ou le contact d'une flamme détermine son explosion. Graduellement chauffé à environ 600° F., le picrate de potasse détone avec violence. Lorsqu'il contient environ 15 pour 100 d'eau, il ne s'enflamme pas sous l'action du choc, et le contact d'un corps en ignition ne produit qu'une déflagration locale [D. 737].

755. **Picrique (Acide).** Voir *Mém. poudr. salp.* : 5 269.

756. **Picrique (Nitrogélatine).** Voir *Nitrogélatine picrique*.

757. **Picriques (Poudres).** Voir *Acide picrique* (*Poudre à l'*) et *Brugère* (*Poudre*).

758. **Pieper.** Voir *Thorn, Westendarp et Pieper*.

759. **Pietrowicz.** Voir *Silésite*.

760. **Pigou.** Voir *Sûreté* (*Poudre de mine de*).

I. *761. **Pilons (Poudres des).** Anciennes poudres de guerre pour *mousquet* et pour *canon* [D. 364].

*762. **Piquet.** Voir *Pochez et Piquet.*

*763. **Pistol Powder.** Ancienne poudre anglaise à grain fin employée pour le tir des revolvers et pour le chargement des shrapnels. — Voir *Adam.* I.

764. **Platine fulminant.** S'obtient sous forme d'un précipité noir explosif, en mélangeant de l'*ammoniaque* avec une solution de *bioxyde de platine* dans de l'*acide sulfurique* dilué. A un point de vue général, le platine fulminant est de la même nature chimique que l'or fulminant. VIII.

765. **Pléra.** Nom fantaisiste donné au *coton-poudre pour carabine.* V

766. **Poch.** Voir *Pudrolithe.*

*767. **Pochez et Piquet** ont fait breveter un procédé de fabrication de la *nitrocellulose* avec les « *fumiers végétaux* d'animaux ou autres de toutes provenances » [Bf **146181** 3.12.81]. V.

768. **Pohl (Poudre).** Elle est presque identique à celle d'*Augendre* et se compose de : III.

Chlorate de potasse	49	parties
Prussiate jaune de potasse	28	»
Sucre de canne	23	»

[D. 615].

*769. **Polis (Explosif).** Composé à base de *ditoluolnitrate de plomb,* obtenu sous forme de poudre blanche et amorphe, qui fait facilement explosion quand il est réchauffé. VIII.

*770. **Polynitrocellulose.** Voir *Heusschen.*

771. **Poriféra nitroléum.** Mélange de *nitroglycérine* et d'*éponge* ou de *substance végétale,* avec ou sans addition de *plâtre de Paris.* IV.

772. **Potentia.** Variété de *dynamite* américaine du type n° 2 [T. 88]. IV.

V. 773. **Potentite.** Sorte de *coton-poudre nitraté* identique à la *tonite,* avec cette différence que le nitrate de baryte est ordinairement remplacé par du *salpêtre.*

*774. **Poudres sans flamme, sans fumée, etc.** Voir *Sans flamme, Sans fumée* (*Poudres*), *etc.*

I. *775. **Pr. 4-5** (**Polvere**). Poudre *noire* progressive italienne (4 à 4,5 grains au kilogramme), destinée aux canons de 450^{mm}.

I. *776. **Pr. 20/24** (**Polvere**). Poudre *noire* progressive italienne, destinée aux calibres de 120^{mm} et au-dessus.

VIII. *777. **Prado** a fait breveter l'emploi de la *laine de scories,* mélangée ou non à d'autres matières, pour le transport et la conservation de toutes matières inflammables ou explosives [Bf **181307** 2.2.87].

VIII. 778. **Preisenhammer** a proposé comme explosif de mine un mélange des gaz *hydrogène* et *oxygène* [Ba **3377** 23.9.61]. Cette idée a été reprise par *Edison* [M. VII 114] et aussi, je crois, par d'autres personnes. Il est évident que, si des mélanges solides ou liquides de ces gaz pouvaient se conserver jusqu'au moment de leur emploi, ils constitueraient un explosif des plus puissants et des plus avantageux; mais malheureusement les difficultés que rencontre la réalisation de cette idée, dans l'état actuel de la science, paraissent insurmontables.

V. 779. **Prentice** a recommandé de régler la rapidité de combustion du *coton-poudre* en entrelaçant des fils de *coton* inerte avec des fils de coton-poudre, ou en les réduisant en pâte ensemble. Il a recommandé pour la chasse un *papier explosif* préparé avec 15 parties de fibres non converties pour 85 parties de fibres converties. 30 grains environ de ce papier enroulé en cylindre constituaient une charge suffisante pour une balle de 1 once [Ba **953** 3.4.66].

VIII. *780. **Prieur** (**Poudre**). Poudre dont l'élément principal serait un sel appelé par l'inventeur *trinitro-homophénolate d'ammoniaque.*

*781. **Prismatique noire (Poudre)**. Voir *PA*.

*782. **Prismatiques (Poudres)**. En Allemagne, les anciens types de poudres prismatiques noires étaient désignés comme suit : 1° *poudre C/68* (construction 1868), à 7 canaux et à faible densité; 2° *poudre R/77* (russe 1877), à 7 canaux et à forte densité; 3° *poudre C/75*, à un canal et à forte densité [*Mém. poudr. salp.* : I 310 et 332]. — Voir *Brunes (Poudres)*. I.

*783. **Prismatiques brunes (Poudres)**. Voir *Brunes (Poudres)*.

784. **Prodhomme**. Voir *Pyronitrine*.

*785. **Progressite**. Voir *Turpin* [993].

*786. **Progressiva (Polvere)**. Voir *Pr.* 4-5 et *Pr.* 20/24.

787. **Prométhée (Fusée de)**. Voir *Sûreté (Allumeurs de)*.

788. **Prussien (Feu)**. Voir *Wigfall*.

789. **Pudrolithe** (*Rock Powder*). Composition : II.

Salpêtre.....	68 parties				
Soufre.....	12 »	ou	Soufre.....	8 parties	
			Gomme en poudre..	3	»
Charbon.....	6 »				
Nitrate de baryte.....	3 »				
Nitrate de soude	3 »				
Sciure de bois.....	5 »				
Tan épuisé.....	3 »				

On dissout le nitrate de baryte et le nitrate de soude dans l'eau chaude; puis on ajoute à la solution le tan et le charbon et l'on fait bouillir le tout jusqu'à dessiccation. On ajoute ensuite les autres substances et l'on mélange le tout ensemble. Le composé ainsi obtenu brûlerait lentement et ne donnerait que peu de fumée.

Cet explosif se fabriquait près de Llangollen jusqu'à ces dernières années, mais a été abandonné depuis [Ba 656 2.3.72; — D. 607].

I. *790. **Pulvérin.** Poudre de mine spéciale non grenée, au dosage de 75 de *salpêtre,* 12,50 de *soufre* et 12,50 de *charbon,* fabriquée en France à l'usage des artificiers [*Mém. poudr. salp.:* 3 *29].

IV VI. VIII. 791. **Punshon** fait absorber de l'*acide nitrique* par de l'*asbeste,* ou par d'autres substances poreuses, et par de l'*acide picrique.* On obtient ainsi une pâte que l'on introduit dans des étuis à cartouches en papier, recouverts à l'intérieur d'un ciment de verre pulvérisé et d'une solution concentrée de silicate de soude, afin de garantir le papier de l'action des acides [Ba **2242** 1.6.80]. — Voir *Oxonite* et *Punshon et Vizer.*

Le même inventeur recommande aussi un mélange formé d'*acide picrique,* de *nitroglycérine,* de *chlorate de potasse* et de *charbon de bois* [Ba **11140** 1887].

V. 792. **Punshon (Coton-poudre).** Cet explosif a été préparé dans le but de régler la rapidité d'explosion du coton-poudre. On trempait le *coton-poudre* pendant 12 heures dans une solution de *sucre,* raffiné ou cristallisé de préférence. Punshon ajoutait également ce qu'il appelait « un *flux,* ou un explosif, tel que la *poudre à canon blanche* ou *noire,* ou le *nitrate de soude* ou *de potasse,* ou le *coton-poudre ordinaire,* ou un *coton-poudre* contenant de 5 à 20 pour 100 de *nitrate de potasse* ou *de soude,* additionné de 1 ou 2 fois son poids de *sucre* ». Cette addition avait pour but de faciliter le développement de la force explosive. On découpait la masse ainsi obtenue en morceaux de la dimension voulue. Cet explosif est simplement du coton-poudre nitraté, mélangé avec du sucre [Ba **2867** 31.10.70].

IV. 793. **Punshon (Explosif).** Mélange de *nitroglycérine* et de *tourbe carbonisée* comme absorbant, dans la proportion de 70 pour 100 de nitroglycérine pour 30 de tourbe. « Au lieu d'alcalis, on emploie de la craie diluée dans de l'eau pour purifier la nitroglycérine.... Lorsque la tourbe a absorbé autant de nitroglycérine qu'elle peut en contenir, on peut ajouter du *coton-poudre* finement pilé, en quantité suffisante pour assurer la détonation de la nitroglycérine préparée à une température à laquelle la nitro-

glycérine ordinaire ne détone que rarement. » Ce paragraphe est bien obscur en ce qui concerne les points respectifs d'explosion de la nitroglycérine et du coton-poudre [Ba **4268** 9.12.75].

*794. **Punshon et Vizer** ont fait breveter l'utilisation d'un composé explosif d'*acide picrique* pur ou combiné et d'*acide nitrique*, enfermés séparément dans des cartouches, vases ou récipients, et destinés à être réunis au moment de l'emploi [Bf **158502** 12.11.83]. — Voir *Punshon* [**791**]. VI. VII.

*795. **Pyrocoton** (ou *coton pyrique*). Poudre proposée en 1883 par *Parozzani* pour le chargement des projectiles creux et formée d'un mélange de *coton-poudre* avec des *picrates* et quelques autres substances. V. VI.

796. **Pyroglycérine.** Synonyme de *Nitroglycérine*.

797. **Pyrolithe.** Composition : II.

Salpêtre	51,5	parties
Nitrate de soude	16,0	»
Soufre	20,0	»
Sciure de bois	11,0	»
Charbon	1,5	»

L'inventeur (*Matteen*) a fait breveter également un autre mélange, présentant la composition suivante :

Nitrate de soude	47	parties
Salpêtre	18	»
Soufre	17	»
Sciure de bois	12	»
Carbonate ou sulfate de soude	6	»

Le but est de ne pas avoir d'oxyde de carbone dans les produits de la combustion [D. 606].

798. **Pyronitrine.** Cet explosif a été présenté à la Commission française des substances explosives, en 1884, par M. *Prodhomme*. Il fournit deux échantillons présentant les compositions suivantes : II

	1.	2.
Nitrate de soude	35	18
Salpêtre	35	45
Tan	15	15
Sulfate de soude	2	3
Soufre	6	9
Charbon	3	»
Résine	4	3
Goudron	»	7

[Ba **4200** 15.10.80; — Bf **144968** 22.9.81; — *Mém. poudr. salp.* : 2591 et 595].

II. **799. Pyronome.** Composition :

Salpêtre	69	parties
Soufre	9	»
Charbon	10	»
Antimoine métallique	8	»
Chlorate de potasse	5	»
Farine de seigle	4	»

plus une petite quantité de *chromate de potasse*. On fait bouillir les substances ensemble et, après avoir transformé la masse en pâte, par évaporation, on la dessèche et on la pulvérise [Ba **3923** 9.9.81; — Bf **143304** 9.6.81; — *Mém. poudr. salp.* : 1474].

800. Pyronome. Voir *De Tret.*

V. **801. Pyropapier** (*Papier fulminant*). Ce papier s'obtient en plongeant pendant deux minutes du *papier* non collé dans un mélange à parties égales d'*acide azotique* et d'*acide sulfurique*. Ensuite on le lave, on le traite par une solution ammoniacale; puis on le lave à nouveau et on le dessèche. Le papier fulminant a été employé comme amorce pour le fusil à aiguille [D. 667]. — Voir *Dynamogène, Hochstätter, Melland.*

802. Pyroxylam. Voir *Nitroamidon.*

V. **803. Pyroxyle.** Terme générique pour toutes les substances nitrées, dérivées de différentes variétés de cellulose : coton, bois, papier, etc.

*804. **Pyroxylées (Poudres de chasse)**. Les poudres de chasse sans fumée fabriquées en France, dites *du type S*, sont à base de *coton-poudre, nitrate de baryte* et *salpêtre* [*Mém. poudr. salp. :* 2 *24, 3 *13, 5 *25]. V.

De nouvelles poudres, dites *du type J*, contiennent 17 pour 100 de *bichromate d'ammoniaque* et 83 de *coton-poudre* [*Mém. poudr. salp. :* 5 215]. — Voir *EC* (*Poudres*).

*805. **Pyroxyles solubles.** Voir *De Chardonnet.*

*806. **Pyroxylite**. Poudre proposée par *Anthoine et Grouselle* (1887) et composée d'*acide picrique,* d'*oxyde de plomb* et de *bichromate de potasse* ou d' *acide chromique* [*Mém. poudr. salp. :* 2 648]. VI.

807. **Pyroxyline** ou **Pyroxylol**. Voir *Pyroxyle.*

Q

808. **Quentin.** Voir *Cordeau combustible.*

*809. **Q. F_1. Powder**. Poudre *noire* anglaise, destinée aux canons Hotchkiss et Nordenfelt à tir rapide. Analogue à la poudre C_2. I.

*810. **Quick's Powder**. Poudres moulées sous forme de *disques* ou de *galettes perforés,* en vue d'assurer la constance de la surface de combustion de la charge. I.

811. **Qurin.** Voir *Schulhof et Qurin.*

R

*812. **R (Poudre)**. Poudre *noire* réglementaire dans la marine française pour le tir du canon-revolver de 37^{mm} (750 à 800 grains au gramme) [*Mém. poudr. salp. :* 4 *8]. I.

*813. **R/77.** Voir *Prismatiques* (*Poudres*).

III. VI. VII. VIII. **814. Rack-à-rock.** Cet explosif est formé de cartouches au *chlorate de potasse* comprimé qui doivent être trempées, avant l'emploi, dans certains liquides inexplosibles par eux-mêmes, de même que le chlorate de potasse. Ces liquides consistent en *huile lourde,* huile foncée et lourde consistant principalement en hydrocarbures dérivés du goudron de houille, ayant un point d'ébullition très élevé, ou en un mélange formé d'huile lourde et de son volume de *bisulfure de carbone,* ou bien en un mélange analogue à ce dernier, additionné de 3 pour 100 de *soufre.*

Les cartouches au chlorate de potasse sont enfermées dans des sachets en coton, ou dans d'autres enveloppes de dimensions et de forme appropriées, et plongées dans le liquide. On emploie de préférence le mélange d'huile lourde et de bisulfure de carbone, ce dernier corps ayant pour effet d'empêcher le chlorate de potasse d'absorber une trop grande quantité d'huile lourde. Le bisulfure de carbone s'évapore ensuite.

On emploie également, comme liquide, le *nitrobenzol,* seul ou en combinaison avec l'*acide picrique.*

Dans la pratique, on suspend les cartouches dans un panier en fils de fer à une balance à ressort et on les plonge dans un seau contenant le liquide. La balance indique la quantité du liquide absorbée. Les proportions recommandées sont de 3 à $4\frac{1}{6}$ parties de substance solide pour 1 partie de liquide. — Voir *Sprengel* (*Explosifs*).

Pour l'explosion du grand Hell Gate, qui eut lieu le 10 octobre 1885, on a employé 240399 livres de rack-à-rock et 42331 livres de dynamite.

Les cartouches paraissent devenir plus sensibles au choc et au frottement au bout d'un certain temps de conservation [Ba **5584** 21.12.81, **5596** 21.12.81, **1461** 27.3.82, **5624-5** 4.12.83].

*815. **Rauchloses Geschützpulver 1889.** Voir *C.* 89 *Pulver.*

III. **816. Rave** a proposé de faire passer un courant de *chlore* dans un mélange de 80 parties de *carbonate de potasse,* de 30 parties

de *paille* hachée et de 15 parties d'*anthracite,* le tout transformé en pâte avec de l'eau. Il obtenait le courant de chlore en faisant réagir de l'acide chlorhydrique sur du bioxyde de manganèse. Il est évident que c'est simplement un mélange à base de chlorate obtenu d'une manière indirecte [Ba **2469** 23.11.59].

817. Rave (Poudre). Mélange formé de *chlorate de potasse* III. et de *charbon,* ou de *sciure de bois,* ou de *houille.* Les substances sont transformées en pâte, desséchées et grenées. On donne comme proportions moyennes : 100 parties de matière phytogène ou de carbone pour 200 parties de chlorate de potasse [Ba **2651** 23.11.59].

818. Reeves a recommandé de préparer une série graduée V. d'explosifs, en plongeant de la *cellulose* (sous différentes formes) dans un bain de 1 volume d'*acide nitrique* et de 2 volumes d'*acide sulfurique*. La première charge est laissée dans le bain pendant 22 à 26 heures, la deuxième pendant 32 à 60 heures, après addition d'environ $\frac{1}{20}$ du volume primitif d'acide nitrique; la troisième charge pendant 2 jours $\frac{1}{2}$ à 4 jours, après addition de 15 à 20 pour 100 de la quantité primitive d'acide nitrique. Reeves a déclaré que l'on pouvait plonger dans le même bain une quatrième et une cinquième charge, avec ou sans addition d'acide nitrique.

Les cotons nitrés ainsi obtenus devaient être mélangés dans les proportions déterminées [Ba **989** 2.4.67].

819. Reeves. Voir *Muschamp*.

820. Reichen a fait breveter des rouleaux ou des cartouches III. V. de papier imprégnés d'un mélange chloraté identique à celui qui forme le papier-poudre *Melland* [Ba **2266** 2.9.65].

***821. Reid et Johnson** ont fait breveter le *durcissement* des V. grains des poudres contenant de la *nitrocellulose* ou autre composé nitré organique solide. La poudre proposée serait formée de 100 parties en volume de nitrocellulose granulée, humectée avec 50 à 80 parties d'*éther* ou d'*alcool éthylique* ou *méthylique,*

ou d'un mélange de ceux-ci entre eux ou avec d'autres liquides [Bf **147325** 11.2.82].

IV. **822. Rendrock.** Mélange d'un *nitrate alcalin* avec de la *nitroglycérine,* des *fibres de bois* et de la *paraffine,* ou avec une substance similaire. Les proportions recommandées sont :

Nitrate de potasse.....	40	parties
Nitroglycérine.....	40	»
Matière ligneuse.....	13	»
Paraffine (ou goudron).....	7	»

avec ou sans addition d'une petite quantité de *soufre* et de *charbon* [T. 101; — Bf **146321** 13.12.81].

***823. Résine explosible.** Voir *Nitrésine, Pellier.*

VIII. ***824. Reuland** a fait breveter :

1° La fabrication de composés explosifs au moyen du mélange de *naphtaline* fondue avec :

a. De l'*azotate d'ammoniaque,* lequel est préparé de préférence à l'aide de *sulfate d'ammoniaque* et d'*azotate de strontiane;*

b. De l'*humate* ou *ulmate d'ammoniaque,* lequel est obtenu à l'aide de *tourbe* ou autres corps similaires par lessivage, sursaturation avec un carbonate alcalin et neutralisation par de l'acide;

2° L'emploi des composés explosifs ci-dessus soit seuls, soit en combinaison avec d'autres *hydrocarbures* ou avec des *corps oxydants* ou *chargés d'hydrocarbures.*

[Bf **215261** 1.8.91].

II. ***825. Reunert** a proposé l'emploi d'un tambour mobile, qui est calé sur un arbre creux, et qui reçoit un mélange de *salpêtre,* de *charbon de bois,* de *soufre* et de *farine de froment* ou d'*amidon,* que l'on fait cuire sous pression de vapeur, en tournant le tambour, après y avoir mis 10 à 12 billes de cuivre. La pâte ainsi obtenue est séchée et grenée [Bf **161776** 28.4.84]. — Voir *Amidon.*

826. Reunert. Voir *Fitch.*

827. Reveley (Poudre). Composition : III.

Chlorate de potasse	48	parties
Prussiate jaune de potasse	29	»
Sucre raffiné	23	»

C'est simplement de la poudre *blanche* dont les proportions varient quelque peu. Ainsi, les proportions indiquées dans la *Chimie* de Bloxam sont respectivement de 2,1 et 1 parties des substances ci-dessus énumérées.

Les poudres d'Augendre et de Pohl sont formées du même mélange; la première correspond à la composition indiquée par Bloxam et la seconde correspond à celle de Reveley [D. 617].

828. Reynolds (Poudre). Se compose de 75 pour 100 de *chlorate de potasse* et de 25 pour 100 de *sulfuréa*. C'est une poudre blanche s'enflammant à une plus basse température que la poudre noire; elle s'obtient facilement en mélangeant les deux substances ci-dessus indiquées. La sulfuréa peut se retirer en grande quantité d'un des sous-produits de la fabrication du gaz [T. 62]. III.

***829. RFG_2.** Poudre *noire* à fusil anglaise (environ 650 grains au gramme) [*Mém. poudr. salp. :* 1 323]. I.

***830. RFG Powder.** Voir *Blank Powder*.

***831. RGP** (*Rumänisches Gewehr-Pulver*). Poudre *noire* à fusil (480 à 500 grains au gramme) fabriquée en Allemagne pour la Roumanie [*Mém. poudr. salp. :* 1 315]. Cette poudre a été reproduite par un procédé spécial à la poudrerie française d'Esquerdes [*Mém. poudr. salp. :* 1 347]. I.

***832. R.G.P. 89.** Voir *C.* 89 *Pulver*.

833. Rheinisch Dynamit Gesellschaft. Cette compagnie a recommandé en 1874, par l'intermédiaire de M. *Robert Gottheil,* d'employer, au lieu de nitroglycérine pure, un composé consistant en une solution d'un *carbure d'hydrogène* dans de la *nitroglycérine*. La *naphtaline* est recommandée comme convenable à cet effet. On prépare la solution en dissolvant 2 à 3 pour IV.

100 de naphtaline dans de la nitroglycérine sous l'action de la chaleur, au bain-marie, ou bien en mélangeant une petite quantité de *kieselguhr* saturée de naphtaline fondue avec la nitroglycérine et les autres substances qui doivent former le composé explosif.

Deux mélanges sont recommandés, savoir :

Terre infusoire lavée (kieselguhr)..	23 parties	20 parties
Craie.....	2 »	3 »
Spath lourd.....	» »	7 »
Solution de naphtaline dans de la nitroglycérine.....	75 »	20 »

Les avantages attribués à cet explosif sont exposés d'une façon singulière :

L'acide nitrique contenu dans la nitroglycérine est complètement utilisé, car il se produit ainsi une combinaison chimique entre le carbure d'hydrogène et la nitroglycérine, au lieu d'un simple mélange mécanique de nitroglycérine avec une substance organique, comme dans les explosifs employés jusqu'à présent.

[Ba 586 4.5.74].

IV. *834. **Rhexite**. Mélange de *nitroglycérine,* de *matière ligneuse* et de *salpêtre,* semblable à la poudre *Atlas*. Cet explosif est fabriqué par la Compagnie Borkenstein, en Styrie.

Une variété de cet explosif, fabriquée à Saint-Lambrecht, se compose de 67 parties de *nitroglycérine,* 11 parties de *bois épuisé,* 4 parties *pulpe de bois,* et 18 parties de *nitrate de soude* [O. G.]. — Voir *Coad*.

III. 835. **Ricker (Poudres)**. Formées de 10 variétés de mélanges chloratés contenant, outre le *chlorate de potasse,* un grand nombre de substances, comme du *charbon de bois,* de l'*algue marine* demi-calcinée, du *poussier de charbon,* de la *sciure de bois,* des *nitrates de soude,* de *plomb* ou de *potasse,* de la *farine de froment,* du *bicarbonate de soude,* de l'*écorce* pulvérisée et du *marc de café* desséché. On fait bouillir ensemble toutes les substances dans de l'eau [Ba 3297 9.12.62 ; — D. 613].

V. 836. **Rifle Guncotton** (*Coton-poudre de carabine*). C'est

du *coton-poudre* additionné ou non d'un *nitrate* autre que le nitrate de plomb, et mélangé avec une ou plusieurs des substances suivantes : *cire d'abeilles* pure, *paraffine, laque en écailles, gomme* ou *résine* dissoute dans de l'alcool, de l'éther et de la benzoline; toutes ces substances ne doivent pas contenir d'acide minéral. Cet explosif est autorisé.

*837. **Rifléite.** L'explosif désigné sous ce nom a été autorisé comme composé de *nitrolignine* dissoute dans un dissolvant convenable, avec ou sans addition de *nitro-* et de *binitrobenzol,* de *nitrates* (autres que les nitrates de plomb et d'ammoniaque) et de *graphite*. V.

*838. **RLG Powder.** Poudre *noire* anglaise à gros grains (*rifle large grain*), autrefois employée dans les canons Armstrong. I.

*839. **RLG_2 Powder.** Poudre *noire* anglaise (grains de $4^{mm},2$ à $8^{mm},4$) qui a remplacé la poudre *RLG*. I.

*840. **Robandis (Poudre)** ou **Brise-rocs.** Se compose de : II.

Nitrate de potasse	70	parties.
Nitrate de soude	20	»
Soufre	15	»
Chlorure de sodium	1	»
Charbon	5	»
Tannin épuisé et sciure de bois	15	»

[O. G.].

841. **Robert (Poudre).** C'est de la *poudre blanche* préparée par voie humide et que l'on conserve sous forme de pâte fine à laquelle on ajoute une certaine proportion de *glycérine,* afin de l'empêcher de se dessécher. On détermine l'explosion de ce mélange par la détonation, au contact de la masse plastique qui forme la charge principale, d'une charge initiale formée de cette poudre à l'état sec, ou d'un autre explosif puissant [Ba 926 14.3.73]. III

842. **Roberts et Dale (Poudre).** Dans cette poudre, le sal- II.

pêtre qui entre dans la composition de la *poudre noire* est remplacé en tout ou en partie par du *nitrate de soude*. On y ajoute une quantité, n'excédant pas 18 pour 100 de la dose du nitrate de soude, de *sulfate de soude anhydre* (obtenu en chauffant du sulfate de soude) ou de *sulfate de magnésie anhydre* [Ba **139** 18.1.62; — D. 605].

III. V. **843. Robertson** traitait de la *nitrocellulose* par une solution de *chlorate de potasse* et enduisait le produit obtenu de *collodion*. Il a recommandé d'employer cette matière comme enduit pour certaines cartouches [Ba **2601** 18.10.61].

II. V. VIII. **844. Roburite**. Cet explosif, inventé par le Dr *C. Roth*, se fabrique maintenant en Angleterre sur une échelle commerciale. Il a été employé pendant quelque temps en Allemagne. Il consiste essentiellement en un mélange de *nitrate d'ammoniaque* et de *chlorobinitrobenzol* et a, par suite, une grande ressemblance avec la *bellite* et la *sécurite*. C'est une poudre jaune brunâtre, ayant l'odeur caractéristique du nitrobenzol.

D'après la licence, cet explosif est défini comme un mélange de :

a. *Nitrate d'ammoniaque* additionné ou non de *nitrate de soude* et de *sulfate d'ammoniaque* neutre, ou d'une de ces substances, à la condition que la quantité du nitrate de soude ajouté n'excède en aucun cas 50 pour 100 de la quantité totale des nitrates qui entrent dans la composition;

b. *Chlorobinitrobenzol* soigneusement purifié, additionné ou non de *chloronitronaphtaline* soigneusement purifiée et de *chloronitrobenzol*, à la condition que le chlorobinitrobenzol ne contienne pas plus de 4 parties en poids de chlore pour 100 parties en poids de chloronitrobenzol, et que les proportions de la chloronitronaphtaline et du chloronitrobenzol ne dépassent pas respectivement 2 pour 100 et 5 pour 100 du poids final de l'explosif.

Cette définition a remplacé une autre définition beaucoup plus simple, dans laquelle les deux principaux ingrédients étaient seuls désignés.

Le *métabinitrobenzol* [$C^{12}H^4.2AzO^4$] s'obtient en soumettant à l'action de l'acide nitrique du benzol [$C^{12}H^6$] ou du nitrobenzol

[$C^{12}H^5AzO^4$]; la variété chloronitrée est représentée par la formule $C^{12}H^3Cl(AzO^4)^2$.

La roburite se volatilise sans faire explosion et sans s'enflammer, lorsqu'on la chauffe lentement; en petites quantités, elle brûle lentement à l'air libre. Pour développer sa force, elle nécessite l'emploi d'une puissante amorce.

C. Roth donne la formule suivante pour la réaction explosive de la roburite :

$$C^{12}H^3Cl(AzO^4)^2 + 9(AzH^4O.AzO^5) = 12CO^2 + 38HO + 20Az + HCl.$$

Pour remédier à la difficulté qu'on rencontre pour déterminer la détonation de la roburite et d'autres explosifs analogues lorsqu'ils sont comprimés, *Trench* a proposé de les mélanger avec de la *nitrocellulose* [Ba **18241** 13.12.88].

*845. **Roburite n° 2.** Cette variété consiste en *roburite* telle qu'elle vient d'être définie, additionnée de *chlorure d'ammonium* et de *sulfate de magnésie,* ou de l'une de ces substances. II. V. VIII.

*846. **Roca** a fait breveter, sous le nom de *dynamites à base de nitroglycérine hydrocarburée* ou *lithoclastites,* des explosifs consistant essentiellement en mélanges de *nitroglycérine* avec des substances combustibles pouvant lui céder de l'hydrogène et du carbone ou seulement du carbone, mais ne constituant pas par elles-mêmes des corps explosifs [Bf **165487** 20.11.84]. IV.

*847. **Roca** a fait breveter comme mèches de sûreté pour mines, sous le nom de *mèches sans poudre,* des mèches dans lesquelles le noyau central combustible est formé d'un cordon composé de *fils d'origine végétale* naturels ou préparés, mais présentant tous la composition chimique $C^mH^nO^p$, et rendus combustibles par une simple immersion dans une dissolution d'un ou de plusieurs sels (*nitrates* et *chlorates* spécialement), avec ou sans addition de sels ou corps inertes ou combustibles [Bf **181019** 20.1.87]. VIII.

848. **Rock Powder.** Voir *Pudrolithe.*

III. **849. Roger** a proposé un mélange composé de :

Chlorate de potasse.....	5	parties
Écorce de cascarilla.....	2	»
Corundum.....	3	»
Solution de caoutchouc.....	3	»

pour la préparation des fusées. Le corundum, ou toute autre substance non inflammable, a pour effet de ralentir et de régler la combustion. Pour effectuer le mélange, on devait plonger le composé dans du *bisulfure de carbone,* dans de la *benzine* ou dans un autre dissolvant. Après évaporation du dissolvant, la masse pouvait s'employer à la préparation de pétards ou de fusées [Ba **1356** 12.5.70].

850. Rollason. Voir *Barnwell.*

II. III VIII. **851. Romite.** Explosif suédois consistant en un mélange de *nitrate d'ammoniaque* et de *naphtaline* (ou de *nitronaphtaline*) avec du *chlorate* et du *nitrate de potasse.* Présenté en 1888, cet explosif fut rejeté pour cause d'instabilité chimique, laquelle résulte de la réaction qui se produit entre le nitrate et le chlorate de potasse. — Voir *Sjöberg* [924].

***852. Rondes (Poudres de mine).** Voir *Mine* (*Poudres de*).

IV. VIII. ***853. Rosenboom et Mertz** ont proposé une cartouche contenant 4 tubes en verre qui se brisent par l'explosion de la poudre et mettent ainsi en présence de la *glycérine,* de l'*acide azotique,* de l'*acide sulfurique,* de l'*iode* et du *chlorate de potasse.*

Il se produirait de la *nitroglycérine* et de l'*iodure d'azote* [Bf **171427** 11.9.85].

VI VIII. ***854. Roth** a fait breveter l'emploi de l'*acide picrique* (ou des produits nitrogénés renfermant 60 pour 100 au moins d'acide picrique), en combinaison avec l'*azotate d'ammoniaque* et des *huiles grasses siccatives,* ainsi que l'emprisonnement des susdits composants dans des enveloppes faites avec des tissus ou du papier rendus impénétrables pour l'eau par l'imprégnation

avec un mélange composé d'*essence de térébenthine* et de *carbures d'hydrogène solides* [Bf 173550 15.1.86].

*855. **Roth** a fait breveter un procédé qui consiste à traiter le *goudron de houille* ou ses *dérivés* par des *corps nitrants* et *chlorurants,* ces traitements pouvant avoir lieu, soit successivement dans des opérations séparées, au moyen d'*acide azotique* ou des mélanges qui en laissent dégager et du *chlore libre* ou du *chlore naissant,* soit simultanément dans une seule opération, en employant un mélange composé du nitrant et du chlorurant (en particulier des mélanges composés d'*acide azotique* et d'*acide chlorhydrique,* ou d'*acide azotique* et de *chlorure de sodium*) [Bf 177309 9.7.86]. V. VIII.

Un certificat d'addition [12.4.87] propose :

1° D'additionner de *soufre* ou de *composés nitrogénés* les *produits chloronitrogénés* servant de constituants ou les mélanges de ces substances avec des sources d'oxygène appropriées, en particulier avec l'*azotate d'ammoniaque;*

2° D'employer pour la préparation des composés chloronitrogénés (*benzol, phénol, crésol* ou *naphtaline*) qui ne sont pas extraits du goudron de houille.

856. **Roth**. Voir *Roburite* et *Sûreté* (*Allumeurs de*).

*857. **Rouge** (**Dynamite**). Se compose de 66 à 68 pour 100 de *nitroglycérine* absorbée dans du *tripoli,* silice finement divisée [D. 702]. IV.

858. **Ruckterschell**. Voir *Silotwor*.

859. **Rutenberg** (**Explosif**). C'est simplement de la dynamite préparée avec de la *randanite* au lieu de kieselguhr [Ba 360 30.1.73]. — Voir *Vonges* (*Dynamite de*). IV.

S

*860. **S (Poudre)**. Voir *Pyroxylées* (*Poudres de chasse*).

IV. 861. **S. 1 (Dynamite)**. Semblable à la dynamite *E. C.*

II. *862. **S. A. 152 (Polvere)**. Poudre contenant 62 pour 100 de *salpêtre*, 11,06 de *nitrate d'ammoniaque*, 24,30 de *charbon*, 1,30 de *soufre* et 1,34 de *résine*, anciennement employée en Italie pour les canons de 152^{mm} et remplacée par la poudre *Br.* 152.

863. **Saccharose nitrée**. Voir *Nitrosaccharose*.

*864. **Safety Blasting Powder**. Voir *Sûreté* (*Poudre de mine de*).

865. **Safety Dynamite**. Voir *Sûreté* (*Dynamite de*).

866. **Safety Gunpowder**. Voir *Sûreté* (*Poudre de guerre de*).

867. **Safety Nitro-Powder**. Voir *Sûreté* (*Poudre nitrée de*).

II. VIII. *868. **Sala** a fait breveter, sous le nom de *grenadine*, une poudre de mine composée de *benzine, glycérine, soufre, salpêtre, sable* et *cendre* [Bf 147111 30.1.82].

II. *869. **Sala et Azémar** ont fait breveter une poudre de mine, dite *sulfurite*, composée de :

Salpêtre	62 parties
Soufre	30 »
Charbon de bois	4 »
Cendres de bois	4 »

[Bf 201319 14.10.89].

*870. **Salite**. Explosif breveté en 1878 par *Bergenström* et composé d'environ 65 parties de *nitroglycérine* et 35 de *nitrate d'urée*. IV.

871. **Sallé**. Voir *Pyronome* [799].

*872. **Sandholite**. Voir *Lewin*.

873. **Sandoz**. Voir *Pyronome* [799].

*874. **Sanlaville et Laligant** préparent 2 mélanges, savoir : II. III. VIII.

a. Bisulfate de potasse ou de soude.	36,06	parties
Nitrate de potasse ou de soude...	28,60	»
Glycérine	9,20	»
b. Substance calorigène :		
Chlorate de potasse ou de soude.	50 à 55	»
Charbon	50 à 75	»

Après avoir dissous les sels et ajouté le charbon, on dessèche le mélange et l'on ajoute la glycérine [O. G.]. — Voir *Asphaline*.

875. **Sans flamme** (**Dynamite, Explosif, Poudre**). Voir *Ammoniaque* (*Dynamite à l'*), *Grisou* (*Explosifs pour mines à*), *Turpin* [994].

*876. **Sans flamme** (**Sécurite**). Voir *Sécurite*.

*877. **Sans fumée** (**Explosif**). Voir *Smokeless Explosive*.

*878. **Sans fumée** (**Poudres**). Ces poudres constituent maintenant un groupe considérable. Elles peuvent cependant être divisées, au point de vue de leurs usages pratiques, en deux classes : l'une contenant les *poudres à la nitroglycérine* formant une sorte de modification de la gélatine détonante, comme la balistite ; l'autre embrassant les poudres composées de *nitrocellulose* traitée par des dissolvants et gélatinisée, ou préparée par d'autres procédés pour pouvoir être incorporée avec d'autres substances. — Voir : IV. V. VIII.

Abel [7, 8], *Abel et Dewar* [10, 11], *Actien-Gesellschaft Dy-*

namit Nobel [18, 19], *Anderson, Apyrite, Balistite*, BN [105, 106], CL, *Cordite, Eclipse, Engel, Gaens, Glaser, Grakrult, Greener, Hengst, Kolf*, LP, *Maxim, Nobel, Schenker, Schückher* [893, 894], *Schwab, Siersch, Smokeless Powder, Springthorpe, Troisdorf, Turpin* [992].

A mentionner également les poudres :

Aspden, Borland, Brenk, Duttenhofer, Hebler, Hornite, Johnson, Shires, Studer, Varley, Vieille, Wass, de Wetteren, etc.

Le principe de la fabrication des poudres de guerre, dites *sans fumée*, a été découvert, dès la fin de l'année 1884, au Laboratoire central des poudres et salpêtres, à Paris. La méthode générale, fondée sur l'emploi des *explosifs azotés* sous forme *colloïdale*, permet de régler le mode de combustion de ces explosifs et de l'approprier à une arme de calibre déterminé. Le nouveau type de poudre pour le fusil modèle 1886 a été établi dans les premiers mois de l'année 1885. Il a permis d'accroître de 100^{m}, pour les mêmes pressions, les vitesses qui pouvaient être pratiquement réalisées avec la poudre noire, et des avantages balistiques du même ordre se trouvaient acquis pour tous les types de bouche à feu [*Mém. poudr. salp.* : 39].

II 879. **Saxifragine**. Composition :

Nitrate de baryte.....	77 parties
Charbon.....	21 »
Salpêtre.....	2 »

On prépare le nitrate de baryte en traitant le chlorure de baryum par du nitrate de soude. La fabrication est la même que celle de la poudre noire.

Pour augmenter l'inflammabilité de la poudre, on saupoudre les grains encore humides de poussier de poudre [D. 610].

880. **Sayers**. Voir *Lundholm et Sayers*.

V. *881. **Sayers** mélange de la *mononitro-* ou de la *binitrobenzine*, ou d'autres *dérivés nitrés d'hydrocarbures*, avec la propor-

tion voulue de *nitrates,* et les gélatinise avec 2 à 10 pour 100 de *coton-poudre* [Ba 17212 27.11.88].

*882. **S. B. C. Powder** (*Slow Burning Cocoa Powder*). I. Poudre *brune* anglaise pour canons de gros calibre (68 et 110 tonneaux). Les grains ont la même forme que ceux de la poudre *E. X. E.* Ils se distinguent par leur couleur brune.

883. **Schaeffer (Poudres).** Composition : II.

Salpêtre	30 à 38 parties
Nitrate de soude	40 »
Soufre	8 à 12 »
Charbon	7 à 8 »
Potassio-tartrate de soude (sel de Seignette $KNaC^8H^4O^{12}$).	4 à 6 »

C'est une poudre à combustion lente [Ba 2555 19.10.63; — D. 607].

Un brevet ultérieur (1866) donne :

Potassio-tartrate de soude	4 parties
Salpêtre	78 »
Soufre	8 »
Charbon	10 »

*884. **Schaghticoke cubical Powder.** Poudre *noire* amé- I. ricaine, analogue à la poudre SP_1.

*885. **Schenker** a proposé, pour produire une poudre sans fu- V. VIII. mée, de dissoudre des *produits nitrés* au moyen de l'*acétate d'éthyle,* en y ajoutant simultanément un corps soluble dans l'eau, sans action chimique sur les produits nitrés (*salpêtre, alcool,* etc.), et en éliminant ensuite l'acétate d'éthyle et le corps neutre en lavant avec de l'eau chaude [Bf 217785 2.12.91].

886. **Schlesinger (Poudre).** Composition : III.

Chlorate de potasse	3 parties
Sulfure d'antimoine	3 »
Fleur de soufre	1 »

Cette poudre a été proposée pour les armes à feu de petit calibre [Ba **14227** 20.7.52].

887. **Schmidt**. Voir *Carbonite*.

III. *888. **Schnebelin** a proposé une poudre de guerre ou de chasse composée de *chlorate de potasse, cellulose* (*moelle de sureau* ou *sciure de bois blanc*, etc.) et *amidon*, avec ou sans addition de *pâte de légumes farineux* (*riz, pommes de terre* ou *haricots*) remplaçant la cellulose et l'amidon [Bf **217540** 14.11.91, 25.2.92].

889. **Schneblite**. Voir *Schnebelin*.

V. VIII. *890. **Schöneweg** a fait breveter :

1° Des explosifs composés d'*acide oxalique* ou d'*oxalates* mélangés avec le *coton-poudre gélatineux* ordinaire ou d'autres mélanges explosifs, dans le but d'augmenter la force brisante, d'empêcher la décomposition spontanée et la formation des flammes à l'explosion;

2° L'emploi d'une cartouche explosive ordinaire entourée d'*oxalates*, d'*hydro-oxalates* ou d'*acide oxalique*.

[Bf **183880** 28.5.87].

891. **Schöneweg**. Voir *Sécurite*.

*892. **Schreiber**. Voir *Pétragite*.

V. VI. VIII. *893. **Schückher** a fait breveter :

1° Une poudre sans fumée, consistant dans un mélange de *xyloïdine* (*nitroamidon*), ayant passé par l'état de solution, avec des sels minéraux (*nitrates de potasse, de soude, de baryte* et *d'ammoniaque, picrates, chlorate de potasse*) ou avec des matières organiques (*résine, nitronaphtaline, charbon*) [le brevet anglais indique 50 parties d'amidon nitré pour 40 de salpêtre et 10 de *benzol*];

2° Un procédé de préparation consistant à mélanger la xyloïdine avec les sels minéraux ou matières organiques, à comprimer et à grener le mélange, à imprégner les grains avec une solution de *nitrobenzol* et à évaporer finalement la dissolution du nitrobenzol;

3° Une poudre formée d'un mélange de *xyloïdine* et de *nitrobenzine*, grenée et lissée avec addition de *plombagine*.

[Bf **199734** 22.7.89, 24.3.90; — Ba **11665** 22.7.89].

*894. **Schückher** a fait breveter un procédé de fabrication de v.
la *xyloïdine* ou *nitramidine*, consistant à dissoudre de la *fécule*, séchée et soumise à la mouture, dans l'*acide azotique*, à faire tomber cette solution, à l'état pulvérisé, dans un mélange des *acides azotique* et *sulfurique*, à sécher la poudre précipitée, à la triturer sous des meules verticales et à la stabiliser en l'imprégnant d'*aniline* [Bf **208248** 15.9.90].

895. **Schückher**. Voir *Méganite*.

*896. **Schulhof et Qurin** ont fait breveter, pour la fabrication v.
d'une poudre à canon, de mèches ou de cartouches, l'emploi du *coton-poudre* graissé et comprimé, recouvert de *collodion* ou d'un mélange de collodion et de *sulfure de carbone* [Bf **161084** 19.3.84].

897. **Schultze** a recommandé, en 1868, de mélanger 10 à 60 li- IV. v.
vres de *nitroglycérine* avec 100 livres de sa *poudre au bois* [Ba **2542** 14.8.68; — D. 728]. — Voir *Dualine*.

898. **Schultze** (**Poudres**). La poudre de guerre consiste en v.
nitrolignine mélangée ou imprégnée d'un ou de plusieurs *nitrates* (autres que le nitrate de plomb) et additionnée ou non d'*amidon*, ou de *collodion* (le collodion employé doit se composer de nitrolignine dissoute dans de l'éther ou de l'alcool), ou de *paraffine* solide ne contenant pas d'acide minéral. L'analyse d'un échantillon a donné les proportions suivantes :

Nitrolignine soluble	24,83
Nitrolignine insoluble	23,36
Lignine (non transformée)	13,14
Nitrates de potasse et de baryte	32,35
Paraffine	3,65
Matières solubles dans l'alcool	0,11
Eau	2,56

La poudre de mine a la même composition, avec addition de *charbon*.

Les deux poudres Schultze sont des explosifs autorisés.

Schultze a proposé également les poudres suivantes :

	Poudres		
	de chasse.	de carabine.	de mine.
Goudron nitré (ou composé nitré analogue).	12	10	15
Pyroxyline	60 à 80	280 à 300	10
Nitrate de baryte	60 à 80	100 à 120	»
Nitrate de potasse	8 à 10	40 à 50	75
Soufre	»	10	10

[M. XV 590; — D. 667].

v. *899. **Schwab Pulver**. Poudre *sans fumée* autrichienne, composée de *nitrocellulose* pure. Les grains sont *plombaginés*.

*900. **Schwarr**. Voir *Xanthine*.

iv. *901. **Schwartz (Dynamites)**. Contiennent 30 à 42 pour 100 de *plâtre* et de *sciure de bois*.

ii. *902. **Schwarz (Poudres)**. Poudres de mine peu inflammables contenant 48 à 56 parties de *salpêtre*, 26 à 18 de *nitrate de soude*, 9 à 10 de *soufre* et 15 à 14 de *charbon* [D. 607].

v. 903. **Sciure de bois (Poudre à la)**. Variété de *nitrolignine* préparée, comme l'indique son nom, avec de la *sciure de bois*. C'est un explosif autorisé, mais il est rarement fabriqué.

iv. 904. **Sébastine**. Cet explosif se compose de :

Nitroglycérine	78 ou 68 parties
Charbon	14 ou 20 »
Salpêtre	8 ou 12 »

Le charbon doit être aussi poreux et aussi inflammable que possible [D. 720; — Ba **4075** 21.10.76].

ii. v. viii. 905. **Sécurite**. De même que la *bellite* et la *roburite*, cet

explosif est un mélange de *métabinitrobenzol* et de *nitrate d'ammoniaque*. Les proportions sont d'environ 26 parties de métabinitrobenzol pour 74 parties de nitrate d'ammoniaque. C'est une poudre jaune ayant l'odeur du nitrobenzol. La sécurite a obtenu une licence en 1886.

D'autres variétés de cet explosif contiennent du *trinitrobenzol* ou de la *bi-* ou *trinitronaphtaline*.

Les équations suivantes sont établies pour représenter les différentes variétés de sécurite et les produits de leur combustion, ainsi que pour montrer que la sécurite est un explosif d'un emploi parfaitement sûr, en présence de grisou ou de poussier de charbon (1).

$$C^{12}H^{4}.2AzO^{4} + 10(AzH^{4}O.AzO^{5}) = 12CO^{2} + 44HO + 22Az,$$
$$2(C^{12}H^{3}.3AzO^{4}) + 15(AzH^{4}O.AzO^{5}) = 24CO^{2} + 66HO + 36Az,$$
$$C^{20}H^{6}.2AzO^{4} + 19(AzH^{4}O.AzO^{5}) = 20CO^{2} + 82HO + 40Az,$$
$$2(C^{20}H^{5}.3AzO^{4}) + 33(AzH^{4}O.AzO^{5}) = 40CO^{2} + 142HO + 72Az.$$

Une variété connue sous le nom de *Sécurite sans flamme* (*F. Schöneweg*) se compose d'un mélange de *nitrate* et d'*oxalate d'ammoniaque* et de *binitrobenzol*. Une licence a été accordée pour cet explosif.

*906. **Sécurite comprimée.** Cet explosif a été autorisé comme consistant en un mélange de *nitrate de potasse,* de *nitrate de baryte* (ou de l'un de ces nitrates) et d'une ou de plusieurs des substances suivantes : *métabinitrobenzol, binitrotoluol, mononitro-* ou *binitronaphtaline*. II. V. VIII.

*907. **Sédérolite.** Mélange de *chlorate de potasse,* de *sulfure d'antimoine* et de *soufre*. C'est proprement une poudre détonante. III.

908. **Sélénitique (Poudre).** Mélange de *nitroglycérine* et de *plâtre de Paris* [T. 100]. IV.

*909. **Sélénophanite.** Voir *Panclastite*.

*910. **Selwig et Lange** ont fait breveter une méthode pour la V.

(1) *Paper by S. B. Coxon, at North of Eng. Inst., Mining and Mech. Eng.* 11.2.87.

nitrification du coton, de la *cellulose,* de la *paille,* etc., consistant à effectuer la nitrification dans un appareil ayant la forme et la disposition d'une turbine dans laquelle, après terminaison du procédé, l'acide est dégagé immédiatement de la matière nitrifiée par force centrifuge ou turbinage [Bf **213983** 8.6.91].

IV. **911. Séranine.** Mélange de *nitroglycérine* et de *chlorate de potasse* [D. 722].

912. Settle. Voir *Grisou.*

913. Shaem. Voir *Schultze* [**897**].

III. **914. Sharp et Smith (Poudre).** Composition :

Salpêtre	2	parties
Chlorate de potasse	2	»
Prussiate jaune de potasse	1	»
Potasse	1	»
Soufre	2	»

[Ba **2779** 27.10.66; — D. 613].

***915. Shires.** Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

916. Short. Voir *Kellow et Short.*

917. Siegert. Voir *Silésite.*

III. VIII. **918. Siemens (Poudre).** C'est un mélange de *salpêtre,* de *chlorate de potasse,* et d'un *hydrocarbure solide,* comme la *paraffine,* la *poix,* le *caoutchouc,* etc. Le composé est mélangé à l'aide de tamis et traité ensuite par un *hydrocarbure liquide volatil.* On obtient une masse plastique que l'on transforme en tablettes. On fait durcir ces tablettes en faisant évaporer le dissolvant et on les granule. Cette poudre serait inexplosive à l'air libre. [Ba **1969** 26.4.82].

***919. Siersch.** Voir *Écrasite* et *Grisou.*

V. ***920. Siersch Pulver.** Poudre *sans fumée* autrichienne, analogue à la poudre *Schwab.*

921. Signaux de brouillard pour chemins de fer. Ces VIII.
signaux consistent ordinairement en étuis circulaires en étain ou en fer étamé, légèrement aplatis, contenant une petite quantité de poudre sur laquelle est disposée une capsule percutante ordinaire. On les fixe aux rails à l'aide de crampons de plomb mou et le poids des roues de la locomotive fait partir les capsules et, par suite, enflamme la poudre. En Angleterre, ils doivent avoir une force et un mode de construction tels que l'explosion d'un signal ne puisse déterminer celle des signaux contigus.

922. Silésite [*Pietrowicz et Siegert*]. Composition : III.

Chlorate de potasse	60 parties
Sulfure d'antimoine	10 »
Sucre	30 »

Il est évident que c'est un composé très sensible [Brev. autr. **2219** 12.21.89].

923. Silotwor [*W. von Ruckterschell*]. Cet explosif con- V.
siste en *fibres de bois* traitées par un mélange de parties égales d'*acide nitrique* et d'*acide sulfurique*. C'est donc simplement une nitrocellulose faible. Il a l'aspect d'une éponge sèche et floconneuse. La licence demandée pour cet explosif n'a pas été accordée, parce qu'il n'a pas satisfait à l'épreuve de chaleur [Ba **4349** 1886; — Bf **188560** 4.2.88].

***924. Sjöberg** a fait breveter : III. VIII.

1° La fabrication d'une matière explosive obtenue en dissolvant de l'*oxyde d'ammonium nitrique* dans un *carbone hydrogéné, solide,* gélatinant dans un *carbone hydrogéné liquide* et ajoutant une quantité proportionnée de *chlorate de potasse* également *gélatiné;*

2° L'application du gélatinage à tous les *sels d'ammoniaque,* en général, lesdits sels étant dissous dans un *carbone hydrogéné,* solide, liquéfié;

3° Le remplacement du chlorate de potasse par un *composé d'oxyde d'ammonium nitrique* mélangé avec de la *caséine,* de la *lactine,* ou une autre matière équivalente.

[Ba **173482** 12.1.86, 2.9.87; — *Mém. poudr. salp.* : 2 [illegible]44, 651].

On a indiqué la composition suivante :

Nitrate ou oxalate d'ammoniaque...	50 parties
Huile astrale (?).....	10 »
Naphtaline.....	5 »
Chlorate de potasse.....	35 »

Quelquefois 5 parties de chlorate de potasse sont remplacées par une quantité équivalente de *carbonate d'ammoniaque*. [M. XX 300].

V. *925. **Sjöberg** a fait breveter, sous le nom de *nitrolactos*, une combinaison de *lactine nitrée* et de *mélasse de sucre nitrée*, additionnées de *nitrate de soude* [Bf **192683** 30.8.88].

V. VI. VIII. *926. **Skoglund** a fait breveter une matière explosive ayant un faible pouvoir brisant (?), consistant en *nitrocellulose* ou *trinitrophénol* (*acide picrique*), ou dans des mélanges ou composés dans lesquels une de ces matières ou toutes les deux entrent, et les combinaisons du *radical* des *acides tartrique, carbonique, oxalique* ou *carbamique* avec l'*ammonium*, ou avec un autre radical de base volatile ou hydroxyle, avec ou sans *oxygène amphigène* [Bf **194905** 20.12.88; — Ba **18362** 15.12.88].

*927. **Skoglund**. Voir *Grakrult*.

III. 928. **Sleeper (Poudre)**. Mélange de *chlorate de potasse*, de *sucre* et de *charbon*.

929. **Smith**. Voir *Sharp*.

V. VIII. *930. **Smokeless Explosive**. Explosif inventé par *Abel* en 1886 et composé de 100 parties de *nitrocellulose* pulvérisée et sèche pour 10 à 50 parties de *nitrate d'ammoniaque* sec. Le mélange est rendu pâteux avec du *pétrole* ou un de ses dérivés, puis mis sous forme de blocs, cylindres, prismes ou grains. On rend imperméable l'explosif en l'immergeant dans une solution capable de dissoudre partiellement la nitrocellulose; on obtient ainsi un vernis protecteur constitué par une pellicule de collodion.

Cet explosif est recommandé pour les armes de guerre et pour les mines.

*931. **Smokeless Powder** (*Poudre sans fumée*). Cette v.
poudre, analogue à la poudre *Schultze,* est fabriquée près de Ware, et définie comme suit :

« ... Composée de *nitrolignine* soigneusement purifiée et mélangée ou imprégnée d'un ou plusieurs *nitrates* (autres que le nitrate de plomb), avec ou sans *amidon, collodion, curcuma* ou autre *matière colorante végétale,* à condition que le collodion se compose de nitrolignine soigneusement purifiée et dissoute dans de l'éther ou dans de l'alcool commercialement pur, avec ou sans addition de telles autres substances qui peuvent être autorisées ultérieurement par le secrétaire d'état. »

Mais, sous la désignation générale de *poudres sans fumée,* on comprend une importante classe d'explosifs à laquelle on attache maintenant beaucoup d'attention en vue de réaliser une poudre relativement sans fumée et sans bruit pour les usages militaires. — Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

*932. **Smolianioff** a fait breveter un mélange de *nitroglycé-* IV. VIII.
rine et d'un *alcool,* ou de *méthylalcool,* avec ou sans addition d'un *fulminant* [Bf **206976** 15.7.90].

933. **Smolianoff**. Voir *Américanite.*

*934. **Snyder (Explosif)**. *Dynamite* américaine contenant IV.
6 pour 100 d'un absorbant composé de *coton-poudre, collodion* et *camphre* dissous dans l'éther.

*935. **Société anonyme des poudres et dynamites (La)** a III. IV. V.
fait breveter des explosifs composés de *nitrocellulose, nitrotoluène, amylène* et *nitroglycérine,* avec ou sans addition de *nitrates* ou de *chlorates,* et traités comme il suit :

A une quantité de nitrocellulose on ajoute environ son propre poids de nitrotoluène titrant 20° B., de façon à ramollir et dissoudre partiellement la nitrocellulose. Pour compléter ce résultat plus facilement et plus rapidement, on ajoute à 100 parties du mélange ci-dessus environ 15 à 20 parties d'amylène ou huile de pommes de terre.

On peut, dans un but économique, et aussi pour augmenter la densité du composé, ajouter des nitrates ou des chlorates.

[Bf **183828** 26.5.87].

IV. V. *936. **Société française des explosifs (La)** a proposé, en 1887, comme absorbant pour la *nitroglycérine,* un mélange de 50,81 parties de *papier de paille nitrée* avec 49,19 de *nitrotoluène* [*Mém. poudr. salp.* : 2648].

*937. **Son (Dynamite-)**. Voir *Fulmi-son*.

938. **Soulages**. Voir *Sûreté (Poudre de mine de)*.

*939. **Sous-sensibles (Explosifs)**. Voir *Lundholm et Sayers*.

I. *940. **SP_1 (Poudre)**. Poudre *noire* française, destinée aux canons de siège et de place (340 à 360 grains au kilogramme) [D. 349; — *Mém. poudr. salp.* : 3 *14].

I. *941. **SP_2 (Poudre)**. Poudre *noire* française, destinée aux canons de siège et de place (100 à 110 grains au kilogramme) [D. 349].

I. *942. **SP_3 (Poudre)**. Poudre *noire* française, destinée aux canons de 27^{cm} (nombre de grains au kilogramme inférieur à 20).

943. **Spence**. Voir *Ricker*.

*944. **Spooner**. Voir *Nitrolin*.

945. **Sprengel (Explosifs)**. Voir *Mém. poudr. salp.* : 5 273.

V. *946. **Springthorpe** a proposé, comme poudre sans fumée, un explosif qui n'est autre que de la *paille d'avoine* ou des *fibres ligneuses* traitées par un mélange d'*acides nitrique* et *sulfurique* [Bf **207919** 29.8.90].

IV. *947. **S. T. (Dynamite)**. Identique à la *dynamite E. C.*

II. 948. **Stones**, ainsi qu'*Oliver,* mais bien avant lui, a proposé d'employer de la *tourbe* carbonisée dans la fabrication de la poudre noire [Ba **12990** 7.3.50].

*949. **Stonite**. Cet explosif, analogue à la *carbonite*, se com- IV.
pose de 68 parties en poids de *nitroglycérine* soigneusement purifiée, uniformément mélangée avec 32 parties en poids d'une préparation formée de *nitrate de baryte*, *nitrate de potasse* (ou de l'un de ces nitrates), *kieselguhr* (pas moins de 20 parties en poids), *sciure de bois* (pas moins de 4 parties en poids) et *carbonate de magnésie*, avec ou sans addition d'*huile sulfatée* et de *suie* (ou de l'une de ces deux substances), préparation qui doit être assez absorbante, lorsqu'on l'ajoute dans les proportions ci-dessus indiquées, pour empêcher l'exsudation de la nitroglycérine.

*950. **Studer**. Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

951. **Sucre nitré**. Voir *Nitrosaccharose*.

952. **Sulfure d'azote** (AzS^2). C'est une substance cristalline VIII.
jaune, qui s'obtient en faisant passer de l'*ammoniaque* à travers une solution de *protosulfure de chlore* dans du *bisulfure de carbone* et qui fait facilement explosion sous l'action du choc ou lorsqu'on la chauffe à environ 400° F.

*953. **Sulfurite**. Voir *Sala et Azémar*.

954. **Sûreté (Allumeurs de) pour mines de houille**. Ces III. VIII
allumeurs constituent un ingénieux dispositif pour enflammer la mèche de sûreté. L'idée consiste à écraser un tout petit ballon ou tube de verre contenant de l'*acide sulfurique* et placé dans un *mélange au chlorate*. L'acide enflamme ce dernier mélange qui, à son tour, enflamme la mèche à laquelle est adapté l'allumeur placé dans un tube métallique. Le but est de prévenir l'émission de flammes ou d'étincelles [*Mém. poudr. salp.* : 4 207].

Ces allumeurs sont une modification de l'ancienne *fusée de Prométhée*.

Roth et *Zschokke* ont eu la même idée.

955. **Sûreté (Cartouches de)**. La section 108 de la loi an- VIII.
glaise sur les explosifs, en date du 14 juin 1875, donne la défini-

tion suivante pour les cartouches de sûreté : « Cartouches pour armes de petit calibre dont l'étui peut se retirer du fusil après le coup et qui sont fermées de telle sorte que l'explosion d'une cartouche ne puisse se communiquer aux autres cartouches ». Ainsi, les cartouches pour fusil de guerre et les cartouches de chasse sont des cartouches de sûreté.

IV. V. *956. **Sûreté (Dynamite de)**. On mélange de la *glycérine* avec 5 à 10 pour 100 d'un *hydrocarbure nitraté,* de préférence de la série des *benzols*. On nitrifie le composé ainsi obtenu dans un mélange de 2 parties d'acide sulfurique pour 1 partie d'acide nitrique; pendant la réaction, on refroidit le mélange en introduisant de l'azote. Le produit obtenu est lavé dans une solution alcaline à 50° C. et mélangé avec de la *kieselguhr*. Cette dynamite offrirait de la sécurité dans la fabrication, résisterait à l'action du choc et ne serait pas sujette à se congeler [Ba provisoire 3.12.88].

Elle a été définie comme composée de 75 parties en poids, au plus, d'un mélange soigneusement purifié de *nitroglycérine* et de *mononitro-* ou de *binitrobenzine,* ou des deux substances ensemble, uniformément mélangées dans la proportion de 25 parties en poids. Le reste de la définition est identique à celle de la *dynamite n°* 1.

*957. **Sûreté (Explosif de mine de)**. Voir *Ammonite, Favier*.

VIII. 958. **Sûreté (Fusée de)**. L'ordre du conseil n° 1, rendu conformément à la loi anglaise sur les explosifs en date du 14 juin 1875, donne la définition suivante pour la fusée de sûreté : « Une fusée de mine qui brûle sans faire explosion et qui a une force, une construction et une charge explosive telles, que sa combustion ne puisse se communiquer latéralement à d'autres fusées de même espèce ». On l'appelle ordinairement *fusée Bickford;* mais il y en a un grand nombre de variétés, la marque de fabrique consistant à faire traverser la colonne intérieure de poudre par un ou plusieurs fils blancs ou colorés.

III, IV. V. *959. **Sûreté (Fusée de)**. *Nobel* propose de garnir l'intérieur

des cordeaux par un composé formé de *gélatine détonante camphrée* (15 à 20 pour 100 de camphre) additionnée d'un mélange de 70 parties de *chlorate de potasse,* 25 parties de *ferrocyanure de potassium* et 44 parties de *coton nitré*. Une fois toutes ces substances incorporées, il se forme une matière molle ressemblant au caoutchouc, qu'on introduit facilement dans le cordeau.

Les avantages attribués aux cordeaux ainsi préparés sont : imperméabilité à l'humidité, continuité absolue et absence de fumée [Ba 1470 31.1.88].

960. **Sûreté (Fusée de) en tube**. C'est une sorte de *fusée de sûreté métallique* pour laquelle on a récemment délivré une licence. VIII.

961. **Sûreté (Poudre de guerre de)**. Cette poudre a été présentée, en 1888, pour être autorisée en Angleterre. III.

C'était un mélange de *chlorate de potasse* et de *glycérine,* coloré en violet. En magasin, les substances se séparèrent plus ou moins et le mélange a été rejeté comme devenant trop sensible après une conservation de quelques mois.

962. **Sûreté (Poudre de mine de)** [appelée aussi *Carbo-azotine*]. MM. *Pigou, Wilks et Laurence* (*Ld.*) ont obtenu l'autorisation de fabriquer en Angleterre cette poudre, brevetée par *Cahuc*. Dans la licence, elle est définie comme un mélange mécanique de *salpêtre, soufre, noir de lampe, sciure de bois* et *sulfate de fer*. Dans le brevet, on lui donne la composition suivante : II.

Nitrate de potasse. Nitrate de soude.. Nitrate de chaux..	Un, deux ou trois nitrates	en tout...	50 à 64 parties.
Soufre.....		13 à 16	»
Écorce de tanneur (de préférence celle qui contient des déchets de matières animales) ou sciure de bois, ou écorce et sciure de bois		14 à 16	»
Suie ou noir de lampe, ou les deux.....		9 à 18	»

et 5 à 6 parties de *sulfate de fer* par 100 parties de ce mélange.

On triture toutes ces substances et on les fait bouillir dans une faible solution de sulfate de fer. Le composé devient liquide et se

solidifie ensuite. Lorsqu'il est à peu près solide, on le dessèche.

Cette poudre se vend parfois en grains, mais habituellement on la livre sous forme de cartouches comprimées, comme celles de la poudre ordinaire. Elle détone après compression et bourrage.

On la recommande comme remède contre le phylloxera vastatrix en solution de 2 livres dans 10 gallons d'eau [Ba **3934** 14.11.74].

En 1877, *Cahuc* prit un nouveau brevet pour un perfectionnement apporté à la poudre que nous venons de décrire. Il indiqua les compositions suivantes pour les travaux de mine :

	Roche dure.	Roche moins dure ou charbon.	Charbon bitumeux et gypse.
Salpêtre.....	70	64	56
Soufre.....	12	13	14
Noir de lampe.....	5	4	3
Tan ou sciure de bois	13	19	27
Sulfate de fer.....	2	2	5

Il prétend que ces poudres seraient aussi puissantes que celles qu'il avait proposées précédemment, tout en étant moins dangereuses à fabriquer et à employer [Ba **4732** 12.12.77].

Un brevet postérieur a également été pris en France [Bf **148650** 28.4.82; — *Mém. poudr. salp. :* **2**655].

IV. V. **963. Sûreté (Poudre nitrée de).** C'est une *dynamite-lignine* américaine contenant du *nitrate de soude* et, dans les variétés inférieures, un peu d'*amidon*.

T

VIII. ***964. Terrorite.** C'est un explosif proposé par M. *Mindeleff* pour charger les projectiles. On a dit à tort que le gouvernement mexicain l'avait adopté. Il est possible que ce soit un des explosifs qui se rangent dans la classe des *roburites* ou des explosifs à l'*acide picrique*.

VI. VIII. ***965. Thorn (L.-T.-G.)** mélange environ 40 parties de *nitro-*

crésol avec 20 parties de *carbonate* ou de *nitrate de baryte* ou *de strontiane*. On traite le tout par une solution de *résine* molle, de *cire*, etc., dans l'*alcool*, de manière à former une masse plastique qu'on dessèche pour la transformer en grains [Ba 16.1.89, 11.10.90].

*966. **Thorn, Westendarp et Pieper** ont fait breveter des explosifs sans fumée à base de *nitrocrésols* ou de *sels* de ces derniers, avec ou sans addition de *nitrates de baryte* ou *de strontiane*. [Bf 208796 11.10.90, 18.2.91]. VI. VIII.

967. **Thunder Powder**. Se compose de *miel* et de *glycérine* traités par l'*acide sulfurique* et l'*acide nitrique*. On mélange le produit ainsi obtenu avec du *chlorate de potasse*, du *nitrate de potasse*, de la *sciure de bois* et de la *craie* préparées. Les proportions varient pour chacune des deux variétés [T. 107]. III. IV.

968. **Thunderbolt (Poudre)**. Variété de *dynamite* américaine *n°* 2 [T. 88]. IV.

969. **Titan (Dynamite)**. Variété de *dynamite* américaine du type *n°* 2. [T. 88]. IV.

970. **Titan (Poudre)**. Consiste en *fibres végétales* réduites en pulpe, comprimées, grenées et traitées par les *acides* ordinaires. Elle se compose aussi de fibres végétales préparées avec une solution de *sucre* ou de *mannite*, ou d'*amyline* (1), ou d'*inuline* (2), et traitées ensuite par les *acides*. Cette dernière composition forme évidemment un mélange de différents composés nitrés [T. 102]. V. VIII.

971. **Toluol nitré**. Voir *Nitrotoluol*.

972. **Tonite** (ou *poudre au coton*). C'est un *coton-poudre* *nitraté* ordinairement à l'aide du *nitrate de baryte*. On débite V.

(1) L'amyline ($C^{10}H^{10}$) est un liquide très clair, transparent et incolore que l'on obtient en déshydratant l'alcool amylique ($C^{10}H^{12}O^2$).

(2) L'inuline ($C^{10}H^{10}O^{10}$) est une substance qui ressemble beaucoup à l'amidon et que l'on extrait de différentes plantes.

habituellement la tonite sous forme de cartouches enduites de paraffine d'une couleur brune.

La variété n° 2 a la même composition que la précédente avec addition de *charbon,* ce qui lui donne une apparence grise.

Les deux variétés sont des explosifs autorisés.

v. *973. **Tonite n° 3.** La tonite n° 3 est un mélange de *binitrobenzol, coton-poudre, nitrates de soude, de baryte, de potasse* et *de chaux.* C'est un explosif autorisé.

II. v. 974. **Tonkin** a proposé de mélanger ensemble :

Coton-poudre en pulpe.....	3	parties
Nitrate de potasse ou de soude....	56	»
Charbon.....	26	»
Soufre.....	15	»

Dans certains cas on devait employer du *coton* non modifié. On obtenait ainsi une sorte de poudre noire contenant 3 pour 100 de coton-poudre. Le produit devait être granulé.

975. **Tonnerre (Poudre).** Voir *Thunder Powder.*

976. **Tourbe nitrée.** Voir *Nitrotourbe.*

IV. v. 977. **Trauzl (Dynamite).** Mélange de *niroglycérine* et de *pulpe de coton-poudre.* Un échantillon de cette dynamite se composait de :

Nitroglycérine.....	75	parties
Coton-poudre.....	25	»
Charbon.....	2	»

On a pu faire détoner, à l'aide d'une forte capsule, cet explosif imprégné de 15 pour 100 d'eau après un séjour de 4 jours dans l'eau [D. 725].

978. **Trench.** Voir *Grisou, Mackie, Oarite.*

*979. **Tribénite.** Voir *Cadoret.*

I. *980. **Trituration réduite (Poudres à canon à).** Types

de poudres à canon triturées soit dans les tonnes, soit $\frac{1}{4}$ d'heure sous les meules lourdes. Ces poudres, qui donnaient les mêmes résultats balistiques que les types réglementaires, ont été fabriquées en France de 1882 à 1885 [*Mém. poudr. salp.*: 1 278, 2 326 et *78].

981. **Triomphe (Poudre de sûreté, dite)**. Voir *Courteille*.

*982. **Troisdorf (Poudre de)**. Cette poudre a été autorisée comme une *nitrocellulose gélatinisée*, avec ou sans addition de *nitrates* (autres que ceux de plomb et d'ammoniaque) et de *graphite*. — Voir *Sans fumée* (*Poudres*). V.

983. **Trotman** a recommandé de mélanger du *coton-poudre* ou d'autres variétés de *nitrocellulose* en pulpe ou en poudre avec des *laines de scories* (1). Il cherchait ainsi à retarder l'explosion du coton-poudre, en le mélangeant avec une substance inerte non hygroscopique. Il a proposé d'employer 25 parties de laines de scories pour 75 parties de coton-poudre [Ba 2536 24.6.79]. V.

*984. **Trützschler-Falkenstein**. Voir *Himly*.

985. **Tschirner (Poudre)**. Se compose de 57 parties d'*acide picrique* et de 43 parties de *chlorate de potasse* agglomérés ensemble avec 5 pour 100 de *résine* pulvérisée. Le produit ainsi obtenu est arrosé de *benzine* ou de *pétrole*, afin de dissoudre la résine. Le composé se transforme en une masse plastique facile à mouler et le dissolvant s'évapore [Ba 447 31.1.80, 3846 22.9.80]. III. VI. VIII.

*986. **Tube détonant**. Voir *Cordeau détonant*.

987. **Turpin (Poudres)** dites **à double effet**. Ces poudres consistaient d'abord en mélanges de 80 pour 100 de *chlorate de potasse* et de 20 pour 100 de *goudron de houille* et de *charbon* III. VIII.

(1) Obtenues par l'agitation des scories de hauts-fourneaux fondues. Ce produit est très employé comme enveloppe non conductrice pour conduits de vapeur, etc.

de bois. Dans une variété de ces poudres, la moitié environ du chlorate est remplacée par du *nitrate de potasse*. On ajoute une matière absorbante, comme du *charbon de bois,* de la *silice,* de la *kieselguhr,* etc., suivant le degré de fluidité du goudron de houille. La sensibilité du composé se trouve augmentée lorsqu'on substitue 1 à 10 pour 100 de *permanganate de potasse* à une quantité équivalente de chlorate de potasse. On peut remplacer le salpêtre par du *nitrate de plomb* [Ba **4544** 18.10.81, **2139** 27.4.83; — *Mém. poudr. salp. :* **2** 600].

VI. *988. **Turpin** a fait breveter l'application des propriétés explosives de l'*acide picrique* aux usages industriels et militaires [Bf **167512** 7.2.85].

Deux certificats d'addition [17.10.85, 1.9.92] ont revendiqué :

1° La découverte de la loi de la puissance et surtout de la sensibilité des explosifs; 2° l'invention du chargement rationnel, méthodique et pratique des projectiles creux par des explosifs brisants et notamment à l'aide des *composés nitrés de la série aromatique*, sans addition d'agents oxydants, et surtout par voie de fusion; 3° l'invention du *détonateur,* qui se compose d'une gaîne en acier contenant de l'*acide picrique en poudre* amorcé par du *fulminate de mercure* ou une poudre vive, avec retard d'explosion, l'amorce au fulminate étant attachée à la suite de la fusée; 4° le principe de ne laisser éclater le projectile qu'après sa pénétration; 5° le principe des obus à parois minces.

VIII. *989. **Turpin** a fait breveter l'application des propriétés explosives des *composés chlorobromoiodonitrés,* dérivés des produits des goudrons ou autres, ces produits étant employés sans le concours d'un agent oxydant et à l'aide des systèmes d'amorçage ci-après :

On peut provoquer l'explosion des composés *chlorobromoiodonitrés* en faisant éclater dans ces substances une amorce ou détonateur composé de *fulminate de mercure* seul ou d'un explosif violent : *dynamite, fulmicoton,* etc., amorcé par du fulminate de mercure. Suivant la sensibilité du composé et suivant qu'il est sous un bourrage plus ou moins puissant, ce détonateur peut varier de 1^{gr},5 à 50^{gr}.

On peut aussi provoquer l'explosion de ces mêmes composés en enflammant simplement une quantité de *poudre* sur l'explosif, si celui-ci est en-

fermé dans un trou de mine et sous un bourrage assez puissant. Elle peut varier de 20^{kr} à 500^{kr}.

[Bf **185029** 27.7.87].

*990. **Turpin** a fait breveter l'application des *composés nitro-amidés* organiques à la préparation de produits explosifs, application fondée sur le principe suivant : VI. VIII.

Soit par exemple un *trinitrophénol* (*phénique* ou *crésylique*).

Si l'on fait bouillir l'un de ces corps avec de la *tournure de fer* ou *de zinc* seulement, le trinitrophénol subit, par suite du dégagement d'hydrogène à l'état naissant, une réduction qui ne va pas jusqu'à la production d'*acide picramique*.

Si l'on pousse la réduction plus loin, soit à l'aide de l'*acide acétique* ou d'un autre moyen, on obtient de l'*acide picramique*, lequel, seul ou combiné avec une base (*picramate de soude, d'ammoniaque*, etc.), constitue une poudre explosive.

Enfin, cet acide picramique ou le picramate obtenu à l'aide de ce corps nitroamidé peuvent être mélangés, seuls ou réunis en diverses proportions, avec un *agent oxydant* quelconque :

1er *exemple.*	Acide picramique	30 à 50	pour 100
	Azotate de potasse	70 à 50	»
2^{e} *exemple.*	Picramate de soude	25 à 53	»
	Azotate de potasse	75 à 47	»

[Bf **185034** 27.7.87; — *Mém. poudr. salp.* : **2** 630].

*991. **Turpin** a fait breveter « le genre d'explosifs dont la préparation est basée sur l'application nouvelle de *métaux* ou d'une *base métallique*, quel que soit d'ailleurs l'emploi auquel sera destiné ce nouveau genre d'explosif » [Bf **187348** 1.12.87]. VIII.

*992. **Turpin** a fait breveter la fabrication d'une *poudre celluloïque* ou *celluloïdine*, d'après le procédé suivant : V.

Faire dissoudre à saturation du *fulmi-coton* en pulpe dans de l'*éther sulfurique* ou *acétique* d'une densité de 52° à 56° centésimaux environ. La dissolution faite, étendre la pâte qui en résulte sur des plaques à rebords ou cuvettes, et la laisser sécher à l'air libre ou dans une étuve avec réfrigérant pour recueillir une partie de l'éther employé. Lorsque la pâte est sèche, on la lamine et on la découpe en petits cubes.

[Bf **189398** 16.3.88].

III. VI. VIII. *993. **Turpin** a fait breveter des poudres à base de composés nitrés, préparées de manière à pouvoir faire explosion sans le secours d'un détonateur, avec les formules suivantes :

1° *Progressite.*	Nitrate de baryte	65
	Picrate d'ammoniaque	15
	Binitrobenzine	10
	Coaltar	6
	Charbon roux	4
2° *Duplexite...*	Chlorate de potasse ou de baryte	70
	Charbon	10
	Binitrobenzine	10
	Coaltar	10
3°.....	Nitrate de baryte	60
	Binitrobenzine	15
	Nitrophénol	25
4°.....	Nitrate de baryte	60
	Picramate de soude	20
	Nitrobenzine	10
	Nitrophénol	10

[Bf 189426 17.3.88].

III. IV. VIII. *994. **Turpin** a fait breveter des explosifs composés en vue d'étouffer partiellement ou complètement la flamme produite au moment de l'explosion par l'emploi des substances indiquées ci-dessous ou de toutes autres pouvant se dissocier à haute température :

1° *Boritine.*	Nitroglycérine	7,5
	Kieselguhr ou randanite, etc	2,5
	Acide borique	10
2° *Fluorine.*	Nitroglycérine	7,5
	Absorbant quelconque	2,5
	Fluorure de calcium	10
3° *Oxydine.*	Nitroglycérine	7,5
	Absorbant quelconque	2,5
	Oxyde ou sulfure de zinc	10
4°.....	Chlorate de potasse	70
	Charbon	10
	Binitrobenzine	10
	Coaltar	10
	Acide borique	100

(Cette poudre part par l'amorce).

5°.....	Binitrobenzine.....	30
	Nitrate quelconque ou chlorate....	70
	Fluorure, etc.....	100

[Bf 189428 17.3.88].

*995. **Turpin,** se fondant sur cette observation que « la tendance à l'explosion prématurée dans l'âme du canon, ainsi qu'au choc, est en raison directe de la sensibilité de l'explosif, sensibilité qui croît proportionnellement au carré de la quantité du comburant contenu dans le composé explosif », a fait breveter un mode de chargement des projectiles creux ou autres engins de guerre, notamment à l'aide des *trinitrophénols,* employés sans le concours d'aucun agent oxydant [Bf 205429 3.5.90]. VI. VIII.

996. **Turpin.** Voir *Mélinite, Panclastite,* et 5 272.

U

997. **Uchatius.** Voir *Nitroamidon.*

V

998. **Varley.** Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

*999. **Végétale** (**Poudre**). Voir *Castan.*

*1000. **Vending** a fait breveter en 1882, sous le nom de *dynamite nitrobenzoïque,* un explosif composé de : IV. V.

Nitroglycérine.....	15 à 45	parties
Nitrocellulose.....	1 à 3	»
Nitrobenzine.....	5 à 10	»
Nitrate d'ammoniaque.....	50 à 73	»

III. VI. **1001. Verte française (Poudre).** Se compose de :

Chlorate de potasse	14 parties
Acide picrique	4 »
Prussiate jaune de potasse	3 »

Chaque substance est séchée séparément et finement pulvérisée; le mélange se fait dans des vases en verre, ou mieux dans des tonnes en bois, avec des gobilles en bois [*R. A. I. Proc.*, février 1887].

III. IV. VI. **1002. Victorite.** Cet explosif a quelque ressemblance avec la poudre *Tschirner*. Il se compose de *chlorate de potasse*, d'*acide picrique* et d'une petite quantité d'*huile d'olive* ou d'autre huile, avec ou sans addition de *charbon*. Il a la forme d'une poudre brute d'un gris jaunâtre, qui laisse une tache huileuse sur le papier. La victorite est extrêmement sensible au choc et au frottement. La licence, demandée en Angleterre, a été refusée.

Les proportions suivantes sont indiquées dans le brevet :

Chlorate de potasse	80 parties
Acide picrique	110 »
Nitrates de potasse, de soude ou de baryte	10 »
Charbon	5 »

Dans une autre variété, le chlorate de potasse est remplacé par de la *nitroglycérine*.

1003. Vieille. Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

1004. Vielliard. Voir *Magnier*.

IV. **1005. Vigorite** (1). Cet explosif se compose approximativement de :

Nitroglycérine	30 parties
Nitrate de soude	60 »
Charbon	5 »
Sciure de bois (ou en partie pulpe de bois ou de papier, nitrée)	5 »

(1) Le même nom s'employait autrefois pour un composé nitré qui ne contenait pas de nitroglycérine.

Une autre variété de cet explosif, fabriquée par la Compagnie californienne de la poudre vigorite, se compose de :

Nitroglycérine	43,75	parties
Nitrate de potasse	18,75	»
Craie	8,75	»
Sciure de bois	11,25	»
Chlorate de potasse	17,25	»

La présence du nitrate de soude, substance déliquescente, rend cet explosif particulièrement dangereux; car le nitrate de soude se dissout rapidement lorsqu'il est exposé à l'humidité, et la nitroglycérine exsude.

Un grave accident fut causé, le 5 mai 1879, par de la vigorite fabriquée par la Compagnie des poudres de Hamilton. Un chargement de cette substance, expédiée comme poudre de mine, fit explosion à Stratford (Ontario), sur la ligne du chemin de fer Grand Trunk. Il y eut 2 hommes tués et plusieurs blessés; en outre, 24 wagons furent détruits et 100 furent endommagés.

1006. Vigorite. Voir *Bjorkmann* (*E.-A.*).

1007. Viner. Voir *Wiener*.

1008. Violette (Poudre). Composition : II.

Nitrate de soude	62,5	parties
Acétate de soude	37,5	»

Les substances peuvent être fondues ensemble de manière à former une combinaison intime; mais, lorsque l'on chauffe le mélange à 660° F., il fait explosion. Cette poudre est hygroscopique [B. 2 315].

C'est à Violette qu'est due la découverte (en 1871) du mélange détonant de *salpêtre* et d'*acétate de soude* [D. 620].

1009. Virite. Cet explosif a été proposé en Angleterre dès 1882. IV. Il y en avait deux sortes. La variété n° 1 consistait en un mélange de *nitroglycérine,* de *nitrate de potasse* et de *charbon*. Le rapport concluait favorablement en ce qui concerne la sécurité. La variété n° 2 contenait du *nitrate de soude* au lieu de ni-

trate de potasse, et, comme l'on devait s'y attendre (voir *Vigorite*), elle laissait exsuder la nitroglycérine dans des conditions qui pouvaient se rencontrer pendant le transport ordinaire. Cette variété ne fut pas autorisée.

1010. **Vizer**. Voir *Punshon et Vizer*.

1011. **Vogt**. Voir *Girard*.

II. *1012. **Volkman (Poudres)**. Mélanges de *salpêtre*, *sciure de bois* et *ferrocyanure de potassium*. La poudre de mine s'appellerait *nitropyline* et la poudre de chasse *collodine*.

VIII. 1013. **Volney (Explosif)**. S'obtient en saturant de la *glycérine* concentrée [$C^6H^5(HO)^3$] avec de l'*acide chlorhydrique* gazeux pour former de la *chlorhydrine de glycérine* [$C^6H^5(HO)^2Cl^1$], que l'on traite par un mélange d'*acides nitrique* et *sulfurique* pour former de la *monochlorobinitrine* [$C^6H^5Cl^1.2AzO^4$] [T. 107].

V. 1014. **Volney (Poudre)**. Consiste en *nitronaphtaline* mélangée avec un corps *oxydant* [T. 103].

1015. **Von Forster**. Voir *Wolff et Von Forster*.

V. *1016. **Von Freeden** a fait breveter :

1° Un procédé pour gélatiner et grener la *nitrocellulose* ou des mélanges de nitrocellulose avec d'autres substances, procédé consistant à additionner la nitrocellulose ou les mélanges susvisés d'un agent dissolvant, à malaxer ce mélange jusqu'à ce qu'il soit plastique et que la nitrocellulose soit parfaitement gélatinée, à introduire alors dans cette masse un liquide ou une vapeur n'exerçant pas d'action chimique sur les composants de ladite masse, et à agiter le tout jusqu'à granulation complète;

2° Un procédé pour traiter des grains composés de nitrocellulose gélatinée, lequel consiste à exposer les grains à l'action d'un liquide ou d'une vapeur chauffés incapables d'agir chimiquement sur les constituants solides des grains, et à dessécher les grains.

[Bf **203734** 12.2.90].

1017. Von Ruckterschell. Voir *Silotwor.*

1018. Vonges (Dynamites de). Ces dynamites avaient les compositions suivantes : IV.

	N° 1.		N° 2.		N° 3.		Spéciale.
Nitroglycérine	75		50		30		90
Randanite	20,8	25					1
Silice de Vierzon	3,8		48	50			»
Sous-carbonate de magnésie	0,4		»				1
Craie de Meudon	»		1,5				»
Ocre rouge	»		0,5				»
Silice de Launois	»		»		60	70	»
Laitiers de hauts-fourneaux	»		»		4		»
Carbonate de chaux	»		»		1		»
Ocre jaune	»		»		5		»
Silice spéciale	»		»				8

10

[D. 701].

1019. Vril (Poudres). Compositions : III.

Chlorate de potasse	50,0	ou	48,0 parties
Prussiate jaune de potasse	4,5		9,1 »
Nitrate de potasse	25,0		24,3 »
Charbon de saule	12,5		11,6 »
Paraffine	6,0		6,5 »
Oxyde de fer	2,0		0,5 »

La deuxième composition est moins sensible que la première. Par son aspect, cet explosif ressemble à la poudre noire ordinaire. On a demandé une licence pour cet explosif, mais il n'a pas satisfait aux conditions requises de sécurité [*Mém. poudr. salp.* : 2 608, 629].

1020. Vulcain (Dynamite). *Dynamite-lignine* contenant du *nitrate de soude.* IV.

1021. Vulcain (Poudre). Composition : IV.

Nitroglycérine	30	parties
Nitrate de soude	52,5	»
Soufre	7	»
Charbon	10,5	»

Elle ressemble beaucoup à la *vigorite* ou à la *virite* n° 2. On en a fait grand usage pour la première explosion de Hellgate, à New-York; on a employé 11852 livres de cette substance avec 9127 livres de *rendrock* et 28935 livres de *dynamite* [D. 721; — Abel, *Sur les agents explosifs*, p. 26].

1022. Vulcanienne (Poudre). Voir *Espir.*

II. III. ***1023. Vulcanite** (*Moritz et Köppel*). Composition :

Nitrate de potasse	35	parties
Nitrate de soude	19	»
Soufre	11	»
Sciure de bois	9,5	»
Chlorate de potasse	9,5	»
Charbon	6	»
Sulfate de soude	2,25	»
Sucre	2,25	»
Acide picrique	1,26	»

C'est un explosif autrichien [O. G.].

W

I. ***1024. W (Poudres).** Poudres *noires*, dites *de Wetteren*, anciennement employées pour le tir des canons de 10^{cm} à 34^{cm} [D. 347].

I. ***1025.** *w* **Pulver.** Poudre *noire* autrichienne, à grains de $31/38^{mm}$ et de $45/54^{mm}$, employée dans les canons de 150^{mm} à 280^{mm}.

***1026. W Pulver.** Voir *g Pulver.*

***1027. Waffen (J.).** Voir *Léderite.*

*1028. **Waffen (Dynamite)**. Composition : IV. V.

Nitrate de soude.....	22,50	60 pour 100			
Bois épuisé bien desséché..	36,00				
Acide picrique.....	0,25	et 40 pour 100 de	nitrogl...	94,0	
Soufre.....	1,00		collodion.	6,0	
Carbonate de soude.....	0,25				

[M. XXX 503].

1029. **Wahlenberg** a proposé un explosif formé de *mono-, bi-* ou *trinitrobenzol*, de *chlorate de potasse* et d'*alcalis nitratés*, traités de préférence par des *hydrocarbures solides*, afin de les rendre non déliquescents. Il a recommandé spécialement le *nitrate d'ammoniaque*. Ce composé offrirait une grande sécurité. [Ba 2422 12.6.76]. III. V. VIII.

1030. **Walker**. Voir *Gallaher*.

*1031. **Walsrode (Poudre de)**. C'est une *nitrocellulose gélatinisée* contenant du *carbonate de chaux*. V.

*1032. **Wanklyn** a fait breveter des composés de 1 partie de *nitrate d'urée* avec 2 à 5 parties de *fulmi-coton*, de *dynamite* ou autre nitro-composé convenable [Bf 199375 4.7.89; — Ba 9799 5.7.88]. IV. V. VIII.

1033. **Ward**. Voir *Graham*.

1034. **Warren (Poudre)**. Se compose de 1 partie de *nitrocellulose* et de 10 parties de *nitroglycérine*. On laisse reposer le mélange jusqu'à ce que la nitrocellulose se dissolve sans chaleur. On ajoute ensuite de la *trinitrocellulose pulvérisée* jusqu'à ce que la masse prenne la consistance d'une poudre sèche. Puis on ajoute de la *poudre noire comprimée et lissée*, proportionnellement à la force que doit avoir l'explosif. On recommande la proportion de 70 parties de poudre noire pour 30 parties du mélange en question. « Un des buts principaux que l'on cherche à atteindre avec ce composé est de conserver la poudre ajoutée à l'état sec » [T. 106]. — Voir aussi *Vulcain (Poudre)*. IV. V.

1035. **Wass**. Voir *Sans fumée* (*Poudres*).

1036. **Wasserfuhr**. Voir *Cologne* (*Poudre de*).

1037. **Watson**. Voir *Davey*.

1038. **Well**. Voir *Hall*.

1039. **Weniger**. Voir *Preisenhammer*.

1040. **Wetter Dynamit**. Voir *Grisou* (*Explosifs pour mines à*).

1041. **Wetteren (Poudres de)**. Voir *Sans fumée* (*Poudres*) et *W* (*Poudres*).

II. *1042. **Wetzlar (Poudre de)**. Composition :

Nitrate de soude.....	66,68	parties
Soufre.....	11,77	»
Tannin épuisé.....	18,71	»

[D. 609].

I. 1043. **Wiener** a proposé de mélanger à l'état sec les substances qui entrent dans la composition de la poudre noire et de les soumettre à l'action d'une presse chauffée à la vapeur à environ 250° F. Le soufre fondait à cette température et se distribuait dans le mélange, en transformant toute la masse en une galette noire compacte et homogène [Ba 3731 17.11.73].

Des expériences furent exécutées sur ce procédé de fabrication en 1878 à Woolwich. Les avantages attribués à cette poudre étaient :

1° Diminution de l'hygrométricité ;

2° Économie dans la fabrication, résultant de la suppression des fours et des moulins ;

3° Diminution du danger de fabrication provenant de la pré-

sence de petites quantités de poudre dans un quelconque des ateliers.

Cependant, les expériences faites en Angleterre ne permirent pas d'obtenir une poudre satisfaisante, et l'on constata que, dans la manipulation préconisée par Wiener, le mélange devait être chauffé au point de fusion du salpêtre, température qui approche du point d'inflammation de la poudre noire, en sorte qu'il se produisit plusieurs explosions. Ce procédé a donc été abandonné; mais on a fait plusieurs expériences avec de la poudre ordinaire chauffée au point de fusion du soufre, dans le but de recouvrir chaque grain d'une pellicule de soufre ou de permettre à ce dernier de pénétrer dans le charbon. Les expériences ont assez bien réussi, mais pas assez pour permettre d'en faire d'autres avec sécurité sur une plus grande échelle.

La poudre ainsi préparée portait le nom de *Baked Powder* (Poudre cuite) [*Rapports de la Commission anglaise des substances explosives,* 1880 et 1881].

1044. Wigfall (Poudre) ou *Feu prussien.* Composition : VIII.

Carbone	4	parties
Gomme	4	»
Acide nitrique	6	»
Plomb rouge	40	»
Charbon	1	»
Tournure d'acier	4	»
Phosphore	4	»
Soufre	2	»
Chlorate de potasse	26	»
Sucre	6	»
Salpêtre	3	»

Il est douteux que cet explosif, très hétérogène et dangereux, ait jamais été effectivement préparé [Ba **2888** 18.11.63].

1045. Wilks. Voir *Sûreté* (*Poudre de mine de*).

1046. Willard. Voir *Hercule* (*Poudre*).

III. **1047. William (Poudre).** Composition :

Chlorate de potasse	48 parties
Prussiate de potasse	16 »
Bichromate de potasse	2 »
Noix de galle	5 »
Charbon	2 »
Amidon	6 »
Huile minérale brute	5 »

II. **1048. Windsor (Poudre).** Se compose de 25 parties de *sucre* sec en poudre ajoutées à 100 parties de *poudre noire* [Ba **3510** 4.12.11].

VIII. **1049. Winiwarter.** Les substances fulminantes de Winiwarter se composent de :

N° 1.

Fulminate de mercure	300 parties
Chlorate de potasse	288 »
Sulfure d'antimoine	312 »
Charbon. 16,7 / Salpêtre. 65,3	60 »
Ferrocyanure de potassium	23 »
Bioxyde de plomb	6 »
Solution de 75 parties de pyroxyline dans 150 parties d'éther, qu'il appelle *éther-oxyline*	900 »

N° 2.

Zinc fulminant	75 parties
Chlorate de potasse	4 »
Sulfure d'antimoine	7 »
Bioxyde de plomb	15 »
Éther-oxyline	224 »
Ferrocyanure de potassium	1 »

N° 3.

Phosphore amorphe	75 parties
Bioxyde de plomb	64 »
Charbon et salpêtre	15 »
Éther-oxyline	106 »

[Ba **13935** 29.1.52, **306** 4.2.53].

1050. **Wohanka** ajoute de la *cellulose* aux explosifs liquides qui s'obtiennent en dissolvant dans l'*acide nitrique* concentré les *dérivés nitrés de carbures d'hydrogène de la série aromatique*. v. VIII.

La cellulose se nitrifie et se gonfle pour former avec les explosifs une masse plastique semblable à la gélatine [Ba **7608** 25.5.87].

*1051. **Wolff et von Forster** ont fait breveter un procédé consistant à découper en grains des pâtes ou plaques fortement comprimées et formées de *cellulose nitratée* [Bf **164792** 14.10.84]. v.

*1052. **Woodnite**. Voir *Chabert*.

1053. **Wynants (Poudre)**. Dans cette poudre, le *nitrate de baryte* remplace, en tout ou en partie, le salpêtre qui entre dans la composition de la *poudre noire*. Les proportions recommandées sont : II.

Nitrate de baryte	77	parties
Charbon	21	»
Salpêtre	2	»

(Cette composition est identique à celle de la *saxifragine*). Le nitrate de baryte peut être remplacé par le *nitrate de plomb* ou *de strontiane*. On peut augmenter l'inflammabilité de cette poudre en couvrant les grains de poussier de poudre ordinaire [Ba **1084** 15.4.62].

Des expériences ont été faites à Bruxelles avec une poudre dans laquelle les $\frac{1}{5}$ du *salpêtre* qui entre dans la composition de la poudre noire furent remplacés par du *nitrate de baryte*. On a trouvé que cette poudre ne convenait ni aux fusils, à cause de la lenteur de combustion, ni aux canons, à cause du crassement. On l'a donc reléguée au rang de poudre de mine [D. 610].

X

II. 1054. **Xanthine (Poudre)**. Cette poudre, due au professeur *Schwarr,* de Gratz, se compose d'un mélange dans lequel le soufre et le charbon qui entrent dans la composition de la *poudre noire* sont remplacés par du *xanthate de potasse* ($C^4H^5KCO^2S^2$), composé qui renferme ces deux substances à la fois et qui s'obtient en ajoutant à l'alcool absolu un excès de potasse caustique pure et de sulfure de carbone.

La composition est la suivante :

Salpêtre.....	100 parties
Xanthate de potasse.....	40 »
Charbon.....	6 »

[B. 2315].

V. V. 1055. **Xyloglodine**. Se compose de *glycérine* et d'*amidon,* ou de glycérine et de *cellulose,* ou de glycérine et de *mannite,* ou de glycérine et de *benzol,* ou d'autres substances analogues traitées par les *acides* ordinaires. Ce composé différerait de la nitroglycérine par certaines propriétés caractéristiques [T. 101].

1056. **Xyloïdine.** Voir *Nitroamidon.*

Y

1057. **Yates.** Voir *Harrison.*

Z

III. 1058. **Zaliwsky** a proposé de mélanger le *chlorate de potasse*

avec de l'*acide oxalique,* avant de l'ajouter au *soufre,* au *charbon* et aux autres substances. Le but de cette addition était d'augmenter la sécurité dans la fabrication et dans les manipulations [D. 616].

1059. **Zanky (Dynamite).** Voir *Krümmel.*

*1060. **Zini.** Voir *Maïzite.*

1061. **Zschokke.** Voir *Sûreté (Allumeurs de).*

INDEX ALPHABÉTIQUE

DES MATIÈRES PREMIÈRES.

[Les chiffres renvoient aux numéros d'ordre des explosifs mentionnés dans le *Dictionnaire*. L'indication des *pages* se rapporte au tome V du *Mémorial*.]

A

Acétate d'amyle : 681.
Acétate de plomb : 403.
Acétate de soude : 1008.
Acétate d'éthyle : 569, 885.
Acétone : 11, 209, 253, 304, 395, 468, 569, 682.
Acide acétique : 395, 580, 990; — cristallisable : 395.
Acide borique : 994.
Acide carbamique : 926.
Acide carbazotique : voir *Acide picrique*.
Acide carbonique : 926; — liquéfié : 437.
Acide chlorhydrique : 474, 692, 855, 1013.
Acide chromique : 806.
Acide hydrazinobenzinedisulfurique : 541.
Acide nitrique : 99, 116, 184, 448, 628, 629, 630, 632, 638, 707, 791, 794, 1013, 1044; — rouge fumant : 302; — fumant : 518. — Voir aussi p. 256, 265, 269 et 274, et les explosifs des classes IV, V et VI (en marge).
Acide oléique : voir p. 262 (note 1).
Acide oxalique : 890, 926, 1058.
Acide palmitique : 529.
Acide phénique : voir p. 269 et 274.
Acide picramique : 990.
Acide picrique : 115, 265, 292, 293, 301, 302, 303, 386, 431, 451, 467, 484, 528, 530, 538, 560, 564, 579, 619, 643, 677, 707, 791, 794, 806, 814, 926, 964, 965, 966, 985, 988, 990, 993, 995, 1001, 1002, 1023, 1028. — Voir en outre p. 269 et 274.
Acide stéarique : 529.
Acide sulfodiazodibromobenzine : 541.
Acide sulfodiazotriazobenzol : 541.
Acide sulfureux : 272.
Acide sulfurique : 99, 399, 454, 474, 518, 628, 715, 764, 954, 1013. — Voir en outre p. 256 et 265, et les explosifs des classes IV, V et VI (en marge).
Acide tannique : 297.
Acide tartrique : 926.
Acier (Tournure d') : 558, 1044.
Alcali : 7.
Alcool : 259, 272, 437, 468, 569, 571, 628, 630, 836, 885, 932, 965. — Voir aussi p. 272.
Alcool amylique : 272.
Alcool éthylique : 272, 821.
Alcool isoamylique : 535.
Alcool méthylique : 155, 628, 684, 821, 932. — Voir aussi p. 262.
Algue marine calcinée : 835.
Aloès américain : 557.
Alun : 110, 192, 423, 465.
Alun ammoniacal : 423.

Alun des sulfates : 610.
Amidon : 19, 32, 124, 206, 233, 235, 287, 333, 440, 463, 496, 580, 594, 614, 633, 687, 734, 820, 888, 897, 898, 931, 963, 1047; — carbonisé : 416, 486; — de pommes de terre : 633. — Voir aussi p. 265, et *Nitroamidon*.
Ammoniac (Gaz) liquéfié : 437.
Ammoniaque : 302, 477, 505, 560, 701, 764, 952.
Ammonium : 926.
Amylène : 935.
Amyline : 970.
Aniline : 894.
Aniline fulminante : 49.
Anthracite : 491, 583, 816.
Antimoine : 589, 799.
Argent fulminant : 59.
Argile : 54.
Aromatique (Série) : composés nitrés, 988.
Asbeste : 54, 791.
Asphalte : 491.
Auréine : 293.
Avoine : paille nitrée, 946.
Azotates : voir *Nitrates*.

B

Base métallique : 991.
Benzine : voir *Benzol*.
Benzoïne : 687.
Benzol : 383, 437, 665, 681, 715, 849, 868, 893, 956, 985. — Voir aussi p. 268 et 274, et *Nitrobenzol*.
Benzoline : 46, 294, 836.
Bicarbonate de soude : 544, 748, 835.
Bichromate d'ammoniaque : 149, 804.
Bichromate de potasse : 236, 594, 620, 806, 1047.
Bichromates : 234.
Bioxyde de manganèse : 97, 592.
Bioxyde de platine : 764.
Bioxyde de plomb : 1049.
Bisulfate de potasse : 874.
Bisulfate de soude : 874.
Bitartrate de potasse : 620.
Bitume : 463.
Blanc de baleine : 432, 748.
Boghead (Cendre de) : 108.
Bois : 169, 177, 258, 259, 275, 516, 523, 534, 614; — épuisé, mort : 195, 834, 1028; — nitrifié : 79, 177, 525, 540, 576, 702, 746. — Voir *Fibres ligneuses, Lignine, Pulpe de bois, Sciure de bois*.
Borate de soude : 603, 610.
Borax : voir *Borate de soude*.
Bumate d'ammoniaque : 372.

C

Cachou : 297.
Caillebotte nitrée : 636.
Campêche (Extrait de bois de) : 737.
Camphre : 8, 157, 294, 382, 383, 486, 679, 681, 687, 934, 959.
Canne à sucre nitrée : 531.
Cannel (Charbon) : voir *Houille*.
Caoutchouc : 406, 433, 558, 583, 849, 918.
Carbonate alcalin : 7.
Carbonate d'ammoniaque : 75, 182, 284, 313, 423, 503, 513, 560, 564, 746, 924.
Carbonate de baryte : 965.
Carbonate de chaux : 344, 460, 748, 1018, 1031. — Voir *Craie*.
Carbonate de cuivre : 110.
Carbonate de magnésie : 57, 352, 452, 545, 949.
Carbonate de potasse : 110, 181, 192, 816.
Carbonate de soude : 7, 165, 182, 267, 284, 291, 560, 564, 633, 797, 861, 947, 1028.
Carbonate de strontiane : 965.
Carbonate de zinc : 169.
Carbone : 169, 1044.
Carton nitré : 622.
Cascarilla (Écorce de) : 849.
Caséine : 924.
Cellulosa : 96.
Cellulose : 18, 99, 139, 209, 245, 258, 259, 275, 293, 339, 474, 670, 888, 1050, 1051.
Cellulose nitrée : voir *Nitrocellulose*.
Cendres : 298, 603, 868, 869; — de boghead : 108; — de feuilles sèches : 370.
Champignons : 139.
Chanvre : 557.
Charbon animal : 427, 436, 748.
Charbon bitumineux : 490.
Charbon cannel : voir *Houille*.

Charbon de bois : 30, 32, 37, 43, 50, 60, 68, 82, 87, 97, 99, 104, 110, 118, 124, 130, 149, 179, 183, 184, 195, 202, 207, 221, 233, 237, 240, 249, 250, 251, 252, 261, 265, 267, 275, 285, 287, 289, 292, 297, 298, 306, 333, 339, 343, 345, 349, 351, 373, 376, 377, 381, 383, 388, 397, 399, 402, 404, 416, 418, 422, 429, 430, 432, 434, 438, 440, 460, 461, 465, 486, 495, 499, 502, 514, 522, 523, 529, 544, 545, 557, 558, 567, 570, 573, 580, 589, 593, 594, 604, 605, 617, 620, 662, 667, 668, 669, 674, 676, 678, 687, 703, 706, 712, 719, 734, 737, 739, 742, 744, 748, 789, 791, 792, 797, 798, 799, 817, 820, 822, 825, 835, 840, 842, 862, 869, 874, 879, 883, 893, 897, 898, 902, 904, 928, 968, 969, 972, 974, 977, 987, 993, 994, 1002, 1005, 1009, 1019, 1021, 1023, 1034, 1044, 1047, 1048, 1049, 1053, 1054, 1058. — Voir en outre p. 249, 262, 263, et tous les explosifs de la classe I (en marge).
Charbon de kieselguhr : 427.
Charbon de liège : 113, 182, 280.
Charbon de maïs : 118.
Charbon de paille : 133.
Charbon de saule : 1019.
Charbon minéral : 620.
Charbon nitré : 184, 746.
Charbon végétal : 427, 436, 620, 656, 748.
Chaux : 87, 110, 326, 550.
Chiffons : 614.
Chlorate d'ammoniaque : 179, 503, 529, 674.
Chlorate de baryte : 993.
Chlorate de plomb : 461.
Chlorate de potasse : 7, 36, 40, 41, 73, 124, 179, 181, 192, 245, 253, 338, 395, 452, 465, 508, 569, 625, 647, 657, 741, 791, 799, 853, 893, 911, 1005, 1044, 1049. — Voir aussi p. 253, 273 (note) et 274, et les explosifs de la classe III (en marge).
Chlorate de soude : 440, 529, 670, 874.
Chlorate de zinc : 313.
Chlorates : 92, 111, 204, 304, 319, 521, 583, 670, 672, 674, 682, 703, 847, 935, 954, 994. — Voir aussi p. 253, 263 et 273, et les explosifs de la classe III (en marge).
Chlore : 816, 855.
Chlorhydrine de glycérine : 1013.
Chlorobinitrobenzol : 844, 845.
Chlorobromoiodonitrés (Composés) : 989.
Chloroforme : 684.
Chloronitrobenzol : 376, 844, 845, 855.
Chloronitrocrésol : 855.
Chloronitrogénés (Composés) : 855.
Chloronitronaphtaline : 376, 844, 845, 855.
Chloronitrophénol : 855.
Chloronitrotoluène : 376.
Chlorure d'ammonium : 305, 376, 423, 513, 845.
Chlorure d'azote : 187.
Chlorure de chaux : 614.
Chlorure de potassium : 239. — Voir aussi p. 252.
Chlorure de sodium : 344, 423, 613, 734, 840, 855.
Chondrine : 139.
Chromate de benzine diazotée : 189.
Chromate de plomb : 251.
Chromate de potasse : 115, 192, 289, 580, 799, 820.
Chromates : 234.
Ciment : 87.
Ciment romain : 589.
Cire : 965.
Cire d'abeilles : 697, 836.
Cire de carnauba : 520.
Cire de palmier : 520.
Citrate d'ammoniaque : 460.
Coaltar : 36, 993, 994; — dérivés : 610.
Cofferdam : 389.
Coke (Poussier de) : 537, 688.
Colle de poisson : 638.
Collodion : 117, 192, 200, 222, 253, 259, 347, 498, 530, 557, 569, 579, 614, 843, 896, 897, 898, 930, 931, 934, 1028. — Voir aussi p. 268 et 272, et *Coton-poudre*.
Colorantes (Matières) : 293, 294, 326, 961; — végétales : 931.
Coquilles : 255.
Corozzo : 680.
Corundum : 849.
Coton : 692, 779, 974. — Voir aussi p. 265, et *Tissu*.
Coton nitré : voir *Coton-poudre*.

Coton-poudre : 6, 7, 8, 10, 46, 71, 74, 76, 140, 147, 154, 155, 157, 159, 208, 209, 234, 258, 263, 276, 289, 293, 295, 305, 311, 329, 339, 340, 381, 382, 383, 401, 404, 423, 468, 498, 557, 561, 569, 579, 582, 602, 612, 641, 643, 656, 668, 669, 722, 765, 773, 779, 792, 793, 795, 804, 836, 881, 890, 896, 897, 898, 910, 934, 959, 972, 973, 974, 977, 983, 992, 1032, 1049. — Voir aussi p. 263, 264, et *Collodion, Nitrocellulose.*
Craie : 54, 833, 967, 1005. — Voir *Carbonate de chaux.*
Craie de Meudon : 1018.
Crésilite : 579.
Crottin de cheval : 613.
Cuir (Rognures de) : 528.
Cumol : 639.
Curcuma : 931.
Cyanoferrure de plomb : 160.

D

Dextrine : 19, 124, 130, 233, 339, 343, 429, 449, 523, 678, 712. — Voir *Nitrodextrine.*
Dextroglucose : 496.
Diazotées (Substances) : 49, 189.
Diphénylamine : 684.
Dissolvant : 1016. — Voir *Acétone, Alcool, Éther, etc.*
Ditoluolnitrate de plomb : 769.

E

Eau : 431, 471, 617, 719, 734, etc.
Ébène : 680.
Écaille de tortue : 351.
Écorce : 703; — pulvérisée : 373, 835.
Écorce de cascarilla : 849.
Écorce de chêne : 407.
Écorce de mûrier : 63.
Écorce de tanneur : 962.
Écume de malt : 288.
Éponge : 771.
Esprit de bois : voir *Alcool méthylique.*
Essence de mirbane : 610.
Essence de térébenthine : 854.
Étain : 629.
Éther : 259, 437, 569, 684, 715, 821, 836, 934, 1049. — Voir aussi p. 272.
Éther acétique : 11, 46, 209, 304, 372, 468, 602, 992.
Éther butyrique : 553.
Éther de pétrole : 458.
Éther nitrique : 630.
Éther-oxyline : 1049.
Éther sulfurique : 272, 449, 468, 992.
Extrait de bois de campêche : 737.

F

Farine : 235, 463, 727.
Farine d'amidon : 825.
Farine de bois : 399. — Voir *Sciure de bois.*
Farine de froment : 825, 835.
Farine de pois : 96.
Farine de seigle : 311, 352, 531, 576, 799.
Farine fossile : 91. — Voir *Kieselguhr.*
Farine grillée : 308.
Fécule : 894.
Fer (Tournure de) : 990,
Ferricyanure de potassium : voir *Prussiate rouge de potasse.*
Ferrocyanure de potassium : voir *Prussiate jaune de potasse.*
Fibres ligneuses : 653, 692, 822; — nitrées : 923, 946. — Voir aussi p. 265 et *Bois, Lignine, Pulpe de bois, Sciure de bois.*
Fibres textiles : 193.
Fibres végétales : 193; — nitrées : 395, 695, 970.
Fils d'origine végétale : 847.
Fluorure de calcium : 994.
Foin : 557.
Froment : 55.
Fulmi-coton : voir *Coton-poudre.*
Fulminant (Corps) : 932.
Fulminate d'argent : 358.
Fulminate de cuivre : 359.
Fulminate de mercure : 40, 117, 253, 360, 677, 1049.
Fulminate de zinc : 361.
Fulminates : 362.
Fulminose : 692.
Fulmi-paille : 365.
Fulmi-son : 366.
Fumiers végétaux : 767.

G

Gayac : 680.
Gazeux (Explosif) : 675.
Gaz liquéfié : 391.
Gélatine : 638.
Gélatine détonante ou explosive : 383.
Glonoïne : voir *Nitroglycérine*.
Glucose : 97, 402. — Voir *Nitroglucose*.
Glycérine : 97, 193, 207, 272, 397, 398, 453, 454, 534, 535, 557, 841, 853, 868, 874, 956, 961, 1013. — Voir *Nitroglycérine*.
Glycocolle : 139.
Glycol : 646.
Gomme : 233, 234, 326, 347, 431, 436, 589, 669, 674, 678, 719, 789, 836, 1044.
Gomme arabique : 80, 130. — Voir aussi p. 272.
Gomme-laque : 140.
Goudrons : 221, 521, 531, 798, 822; — durs : 583; — mous : 583.
Goudrons de bois : 92, 339, 521.
Goudrons de houille : 92, 300, 458, 604, 625, 647, 855, 987.
Graine de lin : 449.
Graisses : 209, 521, 589. — Voir aussi p. 272.
Graphite : 159, 209, 837, 982.
Guhr calcaire : 101.
Gutta-percha : 406, 558.
Gypse : 87.

H

Haricots : 888.
Homophénols nitrés : 560.
Houille : 23, 99, 297, 440, 460, 491, 544, 706, 817.
Huile astrale : 636, 924.
Huile de coco : 521.
Huile de kérosine : 603.
Huile de paraffine : 55.
Huile de pétrole : 738.
Huile de résine : 92.
Huile de ricin : 569.
Huile détonante : voir *Nitroglycérine*.
Huile d'olive : 1002.
Huiles : 209, 221, 500, 569, 1002; — lourdes : 814; — siccatives : 347. — Voir aussi p. 272.
Huiles de goudron : 647; — nitrées : 448. — Voir aussi p. 262 (note 1).
Huiles de houille : 454.
Huiles minérales : volatiles, 715; — grasses siccatives, 854; — brutes, 1047.
Huile stéarique : 96.
Huile sulfatée : 949.
Humate d'ammoniaque : 824.
Hydrates de carbone nitrés : 504.
Hydrocarbonates de magnésie : 658.
Hydrocarbures : 233, 234, 304, 459; — fondus : 583; — gazeux : 237; — liquides : 149, 237, 313, 441, 521, 647, 715, 824, 833, 846, 918, 924; — nitrés : 209, 301, 303, 399, 521, 657, 881, 956, (série aromatique) 1050; — résineux : 564; — solides : 209, 237, 313, 346, 463, 715, 854, 918, 924, 1029.
Hydrocellulose : 473, 692. — Voir *Hydronitrocellulose*.
Hydrochlorate d'ammoniaque : 295.
Hydrogène : 778.
Hydrogène sulfuré : 504.
Hydronitrocellulose : 474, 554. — Voir *Hydrocellulose*.
Hydro-oxalates : 890.
Hydrosulfure de plomb : 160.

I

Indigo : voir p. 269.
Inuline : 970.
Iode : 477, 853.
Iodure d'azote : 477, 853.
Isopurpurate de potasse : 251.
Ivoire végétal (Noix d') : 576.

K

Kieselguhr : 60, 91, 284, 291, 380, 416, 423, 425, 427, 489, 510, 522, 544, 686, 833, 861, 947, 949, 956, 987, 994, 1032.

L

Lactine : 924; — nitrée : 925.
Lactose nitrée : 650.
Laine (Tissu de) : 414.
Laine de scories : 777, 983.

Laitiers de hauts-fourneaux : 1018.
Laque en écailles : 27, 557, 836.
Légumes farineux : pâte, 888.
Liège : carbonisé, 113, 182, 280; — concassé, 508.
Lignine : 445, 495, 703, 748, 834, 897, 898, 963, 1020. — Voir *Bois*, *Fibres ligneuses*, *Pulpe de bois*, *Sciure de bois*.
Lignite : 118, 252, 484.
Lignose : 540.
Lin : 557, 654; — graine : 449; — nitré : 542, 654; — paille carbonisée : 740.
Liquides combustibles : 671.
Litharge : 292. — Voir *Oxyde de plomb*.
Lycopode : 439, 440.

M

Magnésie : 452; — alba : 658.
Magnésium : 181.
Maïs (Charbon de) : 118.
Malt (Écume de) : 288.
Malt : en grains, 504.
Manganèse : 544, 545.
Manne : 660.
Mannite : 660, 970.
Marc de café : 835.
Margarate d'alumine : 505.
Mélasse : 111, 272, 613, 661; — nitrée : 925. — Voir *Saccharines* (*Substances*), *Sucre*.
Mercure fulminant : 589.
Métabinitrobenzol : 448, 844, 845, 905, 906.
Métatriazobenzine sulfate de baryte : 541.
Métaux : 991.
Méthylalcool : voir *Alcool méthylique*.
Mica : 284, 591.
Miel nitré : 967.
Mirbane : essence, 610.
Moelle de sureau : 888.
Moelle ligneuse : 139.
Monochlorobinitrine : 1013.

N

Naphtaline : 304, 346, 395, 399, 493, 636, 650, 662, 716, 824, 833, 851, 924. — Voir aussi p. 274 et *Nitronaphtaline*.
Naphte : 459.
Nitramidine : 622. — Voir aussi p. 265 et *Nitroamidon*.
Nitrate d'ammoniaque : 8, 30, 36, 37, 43, 74, 75, 83, 84, 149, 179, 288, 305, 311, 312, 313, 322, 345, 346, 377, 381, 423, 505, 536, 560, 562, 564, 625, 636, 650, 656, 673, 674, 738, 748, 824, 844, 845, 851, 854, 855, 862, 893, 905, 924, 930, 964, 1000, 1029. — Voir aussi p. 251.
Nitrate de baryte : 60, 78, 105, 183, 293, 395, 486, 514, 544, 545, 557, 560, 670, 678, 773, 789, 804, 879, 893, 897, 898, 906, 949, 965, 966, 972, 973, 993, 1002, 1053. — Voir aussi p. 252.
Nitrate de benzol diazoté : 49.
Nitrate de chaux : 222, 962, 973.
Nitrate de cuivre : 629.
Nitrate de cuivre ammoniacal : 676.
Nitrate de fer : 403.
Nitrate de magnésie : 222.
Nitrate de méthyle : 155, 628, 668.
Nitrate de plomb : 24, 346, 403, 835, 987, 1053.
Nitrate de potasse : voir *Salpêtre*.
Nitrate de soude : 7, 23, 37, 50, 57, 68, 110, 115, 165, 169, 192, 222, 235, 240, 252, 254, 258, 265, 267, 290, 298, 301, 306, 308, 311, 322, 333, 339, 346, 349, 370, 373, 376, 379, 380, 397, 422, 434, 438, 445, 451, 452, 454, 461, 467, 490, 491, 495, 497, 500, 525, 531, 544, 560, 576, 594, 597, 598, 603, 613, 616, 620, 656, 657, 669, 670, 702, 706, 716, 748, 789, 792, 797, 798, 834, 835, 840, 842, 844, 845, 874, 883, 893, 902, 925, 962, 963, 973, 974, 1002, 1005, 1008, 1009, 1020, 1021, 1023, 1028, 1042. — Voir aussi p. 251.
Nitrate de strontiane : 965, 966, 1053.
Nitrate d'étain : 629.
Nitrate d'éthyle : 155, 630, 668.
Nitrate d'urée : 628, 748, 870, 1053.
Nitrate isoamylique : 535.
Nitrates : 18, 19, 53, 92, 111, 139, 204, 206, 263, 275, 294, 303, 304, 319, 380, 383, 401, 404, 493, 535, 537, 566, 583, 641, 647, 670, 671, 672,

674, 682, 695, 703, 707, 773, 836, 837, 847, 881, 897, 898, 931, 935, 956, 972, 982, 994, 1051; — alcalino-terreux : 179; — alcalins : 179, 301 399, 822, 1029. — Voir aussi p. 249, 251, 263, 267 et 273, et les explosifs des classes I et II (en marge).
Nitre : voir *Salpêtre*.
Nitrés (Composés) : 92, 855, 885. — Voir aussi p. 263, et les explosifs des classes IV, V et VI (en marge).
Nitrite d'ammoniaque : 37, 674.
Nitrites : 674.
Nitroamidés (Composés) : 990.
Nitroamidon : 56, 275, 305, 580, 633, 656, 679, 680, 681, 682, 893, 894, 1055.
Nitroaromatiques (Matières) : 554.
Nitrobenzine : voir *Nitrobenzol*.
Nitrobenzol : 83, 111, 169, 276, 303, 305, 319, 343, 347, 376, 383, 399, 418, 448, 454, 498, 566, 579, 605, 635, 656, 665, 749, 814, 837, 881, 893, 905, 956, 964, 973, 993, 994, 1000, 1029, 1055. — Voir aussi p. 268, 273 (note) et 274.
Nitrobenzoline : 18, 19.
Nitrocaillebotte : 636.
Nitrocellulose : 11, 27, 53, 56, 62, 73, 105, 191, 209, 242, 255, 267, 275, 293, 294, 304, 319, 372, 397, 418, 425, 486, 504, 521, 531, 554, 566, 576, 577, 656, 670, 679, 681, 682, 684, 702, 767, 818, 821, 843, 844, 845, 878, 899, 910, 920, 926, 930, 935, 983, 1000, 1016, 1034, 1050, 1051, 1055; — gélatinisée : 982, 1016, 1031. — Voir aussi *Coton-poudre*.
Nitrocoal : 184.
Nitrocolle : 638.
Nitrocrésol : 347, 560, 564, 579, 965, 966, 990; — sels : 966.
Nitrocrésylol : voir *Nitrocrésol*.
Nitrocumol : 639.
Nitrodextrine : 242, 679, 680, 682.
Nitrogélatine : 641.
Nitrogélatine ammoniacale : 381.
Nitrogélatine picrique : 643.
Nitroglucose : 36, 496, 625.
Nitroglycérine : 253, 397, 407, 521, 583. — Voir aussi p. 256 et 274, et tous les explosifs de la classe IV (en marge).
Nitroglycol : 95, 646.
Nitrogoudron : 647, 897, 898.
Nitrohouille : 184.
Nitrolactine : 925.
Nitrolactose : 650.
Nitroleum : voir *Nitroglycérine*.
Nitrolignine : 109, 206, 653, 726, 837, 897, 898, 903, 931.
Nitrolin : 654.
Nitroline : 96, 99.
Nitromannite : 37, 56, 275, 305, 660, 1055.
Nitromélasse : 661, 745.
Nitronaphtaline : 18, 19, 130, 149, 322, 347, 376, 521, 662, 716, 851, 893, 905, 906, 1014. — Voir aussi p. 268 et 274.
Nitronaphtol : 347.
Nitrophénol : 347, 560, 990, 993, 995. — Voir *Acide picrique*.
Nitrosaccharose : 397, 664.
Nitrotoluène : voir *Nitrotoluol*.
Nitrotoluol : 18, 19, 376, 665, 906, 935, 936.
Nitrotourbe : 666.
Nitroxylol : 18, 19.
Noir de fumée : 209, 294, 376, 418, 453.
Noir de lampe : 130, 398, 486, 603, 962.
Noix : 255.
Noix de coca : 680.
Noix de coco : 389.
Noix de galle : 465, 466, 1047.
Noix d'ivoire végétal : 576.
Noyaux : 255.

O

Ocre : 284, 311, 567; — jaune : 1018; — rouge : 1018.
Oléagineuses (Matières) : 221. — Voir *Huiles*.
Oléate d'alumine : 505.
Or fulminant : 701.
Organiques (Matières) : 554, 592.
Orge : 55.
Orpiment rouge : 581.
Outremer : 294.
Oxalate d'ammoniaque : 209, 503, 636, 905, 924.

Oxalate d'argent : 705.
Oxalate de chaux : 169.
Oxalate de mercure : 705.
Oxalates métalliques : 705, 890.
Oxydant (Corps) : 1014.
Oxyde d'ammonium nitrique : 924. — Voir *Nitrate d'ammoniaque.*
Oxyde de fer : 436, 1019.
Oxyde de mercure : 181.
Oxyde de plomb : 85, 292, 518, 806. — Voir *Plomb rouge.*
Oxyde de zinc : 994.
Oxygène : 778; — comprimé : 675; — — amphigène : 926.
Oxynitrocellulose : 554.
Ozokérite : 55, 285, 557.

P

Paille : 449, 557, 712, 816; — d'avoine : 946; — de lin : 740; — nitrée : 286, 365, 523, 656, 910, 936, 946; — papier, 936. — Voir *Fulmi-paille.*
Paille (Charbon de) : 133.
Paléine : 286.
Palmitate éthylique : 460.
Palmitinate de cétyle : 748.
Papier : 461, 573, 580, 719, 744, 779, 820; — buvard : 734; — de paille : 936; — nitré : 302, 386, 622, 779, 801, 936, 1005. — Voir aussi p. 262 et 265, et *Pyropapier.*
Paraffine : 2, 27, 37, 55, 204, 285, 346, 395, 436, 493, 531, 570, 650, 722, 822, 836, 897, 898, 918, 1019.
Perchlorate d'ammoniaque : 674.
Perchlorate de potasse : 620.
Perchlorates : 521, 670, 674. — Voir aussi p. 253, et les explosifs de la classe III (en marge).
Permanganate de potasse : 449, 987.
Peroxyde d'azote : 715.
Peroxyde de manganèse : 181.
Persulfure d'antimoine : 319.
Pétrole : 8, 68, 715, 738, 930, 985; — nitré : 448. — Voir aussi p. 271.
Phénols : 486; — nitrés : 560. — Voir *Nitrophénol.*
Phénols-alcools : nitrés, 560.
Phosphate de soude : 610.
Phosphore amorphe : 24, 41, 85, 160, 181, 402, 430, 431, 485, 593, 678, 741, 1044, 1049.
Picramate d'ammoniaque : 990.
Picramate de soude : 990, 993.
Picrate d'ammoniaque : 16, 50, 132, 149, 562, 564, 669, 678, 753, 993.
Picrate de baryte : 130.
Picrate de plomb : 130, 251, 402, 669.
Picrate de potasse : 37, 130, 250, 251, 253, 338, 669, 754.
Picrate de soude : 130, 484, 564.
Picrates : 169, 395, 682, 795, 893; — alcalins : 261; — organiques : 179. — Voir aussi p. 272 et 273.
Picrates d'hydrocarbures : simples nitrés, chloronitrés, 179.
Platine fulminant : 764.
Plâtre : 54, 901.
Plâtre de Paris : 585, 771, 908.
Plombagine : 110, 893, 899, 920.
Plomb rouge : 411, 528, 585, 1044. — Voir *Oxyde de plomb.*
Poix : 647, 918.
Polysulfures : 504.
Pommes de terre : 888.
Potasse : 287, 914.
Potassio-tartrate de soude : 883.
Poussier de houille : 23.
Protochlorure de soufre : 952.
Prussiate de potasse : 77, 97, 581, 593, 687, 1047.
Prussiate jaune de potasse : 50, 66, 104, 110, 236, 239, 251, 287, 326, 411, 430, 433, 436, 440, 580, 620, 734, 737, 768, 820, 827, 841, 914, 959, 1001, 1012, 1019, 1049.
Prussiate rouge de potasse : 434, 436.
Pulpe à papier nitrée : 302, 1005.
Pulpe de bois : 57, 101, 192, 308, 339, 452, 537, 538, 597, 598, 616, 834; — nitrée : 538, 597, 598, 616, 1005. — Voir *Bois, Fibres ligneuses, Lignine, Sciure de bois.*
Pulpe de coton-poudre : 974, 977, 983, 992. — Voir *Coton-poudre.*
Pulpe de paille : 449, 712.
Pyroglycérine : voir *Nitroglycérine.*
Pyropapier : 56, 305, 801. — Voir *Papier.*
Pyroxylam : voir *Nitroamidon.*
Pyroxyles : voir *Coton-poudre, Nitrocellulose, etc.*

Pyroxyles solubles : 244. — Voir *Collodion.*
Pyroxyline, Pyroxylol : voir *Pyroxyles.*

Q

Quinone : nitré, 560.

R

Ramie : 370.
Randanite : 859, 994, 1018.
Réalgar : 220.
Résine : 85, 111, 159, 181, 183, 210, 297, 343, 380, 422, 491, 499, 557, 567, 583, 607, 632, 697, 798, 836, 862, 893, 965, 985. — Voir aussi p. 269.
Riz : 888.
Rognures de cuir : 528.

S

Sable : 544, 567, 688, 868.
Saccharines (Substances) : 440, 441, 518. — Voir *Mélasse, Sucre.*
Saccharum : 439.
Sainfoin : 557.
Salpêtre : 7, 16, 30, 32, 37, 41, 43, 50, 55, 73, 79, 82, 85, 87, 96, 99, 104, 105, 118, 124, 125, 130, 132, 149, 165, 168, 169, 181, 192, 195, 202, 207, 221, 233, 234, 235, 236, 237, 250, 252, 261, 265, 267, 275, 285, 289, 293, 294, 297, 305, 339, 343, 346, 351, 370, 372, 373, 376, 377, 380, 388, 395, 398, 403, 404, 406, 407, 434, 436, 438, 439, 440, 451, 452, 453, 454, 458, 461, 472, 484, 486, 496, 497, 498, 501, 508, 522, 523, 528, 534, 537, 545, 558, 560, 564, 566, 569, 570, 573, 580, 583, 589, 594, 605, 613, 617, 620, 628, 656, 657, 662, 667, 668, 669, 670, 687, 692, 697, 703, 712, 719, 737, 739, 741, 742, 744, 745, 746, 748, 749, 753, 773, 789, 792, 797, 798, 799, 804, 820, 822, 825, 834, 835, 840, 842, 851, 862, 868, 869, 874, 879, 883, 885, 893, 897, 898, 902, 904, 906, 914, 918, 948, 949, 962, 967, 968, 969, 973, 974, 987, 990, 1002, 1005, 1008, 1009, 1012, 1019, 1023, 1034, 1044, 1048, 1049, 1053, 1054. — Voir aussi p. 249 et 263, et tous les explosifs de la classe I (en marge).
Salpêtre du Chili : voir *Nitrate de soude.*
Saule : charbon, 1019.
Savon : 55.
Sciure de bois : 57, 96, 97, 104, 124, 165, 168, 252, 265, 267, 275, 306, 339, 399, 404, 423, 434, 451, 497, 518, 538, 544, 545, 550, 566, 576, 592, 597, 598, 599, 613, 616, 703, 719, 737, 789, 797, 817, 835, 840, 888, 901, 949, 962, 967, 1005, 1012, 1023; — nitrée : 50, 267, 275, 353, 510, 525, 538, 597, 598, 616, 745, 903. — Voir *Bois, Fibres ligneuses, Lignine, Pulpe de bois.*
Sel ammoniac : voir *Chlorure d'ammonium.*
Sel de Seignette : 883.
Sel marin : voir *Chlorure de sodium.*
Sels d'ammoniaque : 924.
Sels métalliques : 485.
Sesqui-chromates : 234.
Silicate de chaux : 169.
Silicate de magnésie : 169.
Silicate de potasse : 347.
Silicate de soude : 56.
Silicate de zinc : 169.
Silicates : 457.
Silice : 54, 523, 987. — Voir aussi p. 262.
Silice de Launois : 1018.
Silice de Vierzon : 1018.
Silice spéciale : 1018.
Sirop : 96, 402.
Sodium : 460.
Soie : voir p. 269.
Son : 55, 80, 86, 171, 235, 245, 366, 388, 518, 544, 592, 727; — nitré : 525. — Voir *Fulmi-son.*
Soude : 311, 484, 560, 576; — lessive : 617.
Soude (Cendres de) : 110.
Soude (Cristaux de) : 423, 610.
Soudure : 629.
Soufre : 32, 41, 50, 68, 82, 85, 87, 92, 118, 125, 149, 168, 169, 179, 195, 196, 202, 204, 207, 221, 233, 235,

237, 239, 240, 252, 254, 258, 261, 265, 270, 289, 292, 298, 306, 333, 339, 343, 349, 351, 370, 373, 380, 388, 398, 399, 402, 406, 430, 433, 438, 440, 451, 453, 461, 472, 484, 491, 495, 497, 499, 501, 502, 514, 521, 522, 525, 528, 537, 544, 558, 570, 573, 583, 589, 594, 605, 613, 617, 620, 662, 667, 668, 669, 687, 692, 697, 703, 706, 737, 742, 744, 789, 792, 797, 798, 799, 814, 822, 825, 840, 842, 855, 862, 868, 869, 883, 886, 897, 898, 902, 907, 914, 948, 962, 974, 1021, 1023, 1028, 1034. 1042, 1044, 1048, 1053, 1058. — Voir aussi p. 249, 263 et 274, et tous les explosifs de la classe I (en marge).
Sous-carbonate de magnésie : 1018.
Spath : lourd, 833.
Spermaceti : voir *Blanc de baleine*.
Sucre : 77, 99, 110, 124, 125, 130, 149, 239, 272, 298, 326, 394, 402, 430, 438, 463, 604, 620, 664, 687, 737, 792, 827, 841, 922, 928, 970, 1023, 1044, 1048; — nitré : 670. — Voir *Mélasse*, *Saccharines* (*Substances*).
Sucre blanc : 411, 452.
Sucre de betteraves : 736.
Sucre de canne : 66, 181, 397, 664, 736, 768.
Sucre de lait : 664.
Sucre de plomb : 403.
Sucre de raisin : 402.
Sucrose : 97.
Suie de charbon : 440, 557, 949, 962.
Suif : 697.
Sulfate d'ammoniaque : 295, 305, 376, 423, 844, 845.
Sulfate de baryte : 284, 518.
Sulfate de chaux : 489.
Sulfate de cuivre : 373.
Sulfate de fer : 373, 398, 453, 536, 962.
Sulfate de magnésie : 58, 376, 388, 425, 465, 842, 845.
Sulfate de plomb : 614.
Sulfate de potasse : 55, 73.
Sulfate de soude : 345, 423, 797, 798, 842, 1023.
Sulfate de zinc : 614.
Sulfates : 454.
Sulfhydrates : 504.
Sulfuréa : 828.
Sulfure d'antimoine : 40, 41, 85, 97, 171, 236, 245, 309, 431, 432, 498, 739, 741, 749, 886, 907, 922, 1049.
Sulfure d'arsenic : 220, 581.
Sulfure d'azote : 952.
Sulfure de benzol : 165.
Sulfure de carbone : 430, 433, 518, 692. 715, 724, 814, 849, 896, 952. — Voir aussi p. 274.
Sulfure de zinc : 994.
Sulfures métalliques : 461, 741.
Sumac : 124.
Sureau : moelle, 888.

T

Talc : 284.
Tan : 254, 398, 497, 592, 703, 798, 962; — épuisé, 789.
Tanin : 10, 99, 105, 192, 209, 297, 370; — épuisé : 840, 1042.
Tannée : 453.
Tanneur (Écorce de) : 962.
Tartre : 438.
Teck : 680.
Térébenthine (Essence de) : 854.
Terre : 603; — pulvérisée, 169.
Terre infusoire : 380. — Voir *Kieselguhr*.
Terre siliceuse : 100.
Tétroxyde d'azote : 715.
Textiles (Fibres) : 193. — Voir *Tissu*.
Thuya : 680.
Tissu : de coton, 414; — de laine, 414.
Toluol : 665.
Tortue (Écailles de) : 351.
Tourbe : 221, 666, 697, 824; — carbonisée : 793, 948.
Tournure : de fer, de zinc, 990.
Trempes de brasserie : résidus, 504.
Triazobenzinedisulfate de baryte : 541.
Triazodibromobenzine sulfate de baryte : 541.
Triazonitrobenzine sulfate de potasse : 541.
Trichlorure d'or : 701.
Trinitrocrésylate d'ammoniaque : 564.
Trinitro-homophénolate d'ammoniaque : 780.

Trinitrophénol : voir *Acide picrique.*
Tripoli : 857.
Trisulfure d'antimoine : voir *Sulfure d'antimoine.*

U

Ulmate d'ammoniaque : 501, 824.
Urate d'ammoniaque : 522.
Urine : 344.

V

Vapeur d'eau : 274, 417, 462, 825, 1043.
Vaseline : 312.
Végétales (Matières) : 193, 461, 496, 620, 767, 771, 847; — nitrées : 395, 695, 970. — Voir aussi p. 265.
Verre pulvérisé : 40, 160.
Verre soluble : 56.

W

Water-glass : 305.

X

Xanthate de potasse : 1054.
Xanthorrhœa hastilis : voir *Resine.*
Xyloïdine : voir p. 265 et *Nitroamidon.*

Y

Yucca : 557.

Z

Zinc (Tournure de) : 990.
Zinc fulminant : 1049.

NOTE

SUR

QUELQUES FORMULES DE BALISTIQUE;

PAR

M. ROGER LIOUVILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Dans deux articles, publiés par la *Revue d'artillerie* (livraisons de janvier et février 1891), M. Moch, capitaine d'artillerie, a discuté les données d'un canon de campagne proposé par le général allemand Wille, sous le nom de *canon de l'avenir*.

La discussion très intéressante de M. le capitaine Moch porte beaucoup plus sur les conditions pratiques de construction et d'emploi d'un pareil canon que sur les effets balistiques prévus par l'inventeur. Il ne semble donc pas inutile d'indiquer en quelques pages comment se pose la question purement balistique et quels sont les moyens dont on peut disposer pour l'étude théorique des projets de cette espèce.

Le général Wille s'oppose avec quelque vivacité à toute discussion préalable de ses idées. J'espère montrer que, sur le point particulier auquel se rapportent les considérations suivantes, cette étude préalable eût donné quelques résultats profitables pour la pratique.

Les données du canon Wille sont contenues dans le tableau ci-dessous :

Calibre	7^{cm} $\quad c = 0,7$
Longueur totale du canon	$2^{m},80$ (40 calibres)
Poids du projectile	$6^{kg},500$
Poids de la charge	$1^{kg},500$ de poudre Nobel
Vitesse initiale	800^{m} au moins

La pression maximum, à l'aide de laquelle la vitesse indiquée peut être atteinte, n'est pas mentionnée. Dans les premiers calculs dont il va être rendu compte, nous avons donné à cette pression plusieurs valeurs, soit voisines de celles que la pratique courante admet aujourd'hui, soit même beaucoup plus élevées. Toute cette étude a pour base les formules données par M. Sarrau et n'est, en définitive, qu'une conséquence très simple des principes qu'il a fait connaître. J'ai conservé les unités et les notations établies par M. Sarrau, me bornant à les compléter sur quelques points, lorsque cela m'a été indispensable.

Voici comment l'on est amené à se poser une question un peu différente de celles qui ont été jusqu'à présent résolues et dont on peut faire une application au canon Wille.

Pour faire le projet d'une bouche à feu, l'on se donne, avec le calibre de l'arme et le poids du projectile, la vitesse et la pression que l'on veut obtenir. Il reste alors deux variables dont on peut disposer : la densité de chargement, Δ, et le module, x, de la poudre que l'on se propose d'employer.

On peut, à l'aide de ces données, déterminer le poids, ϖ, de la charge de poudre, la longueur, u, du parcours du projectile dans l'arme et la durée, τ, de combustion de la poudre.

Connaissant d'ailleurs ϖ et Δ, il en résulte le volume s de la chambre et, par suite, si le calibre c' de cette dernière est donnée, on en conclut aisément sa longueur, u'.

En général, c' est plus grand que le calibre c de la pièce et l'on peut poser

$$c' = mc,$$

m désignant une constante, supérieure à 1 et qui, pour la plupart des bouches à feu réalisées jusqu'ici, reste comprise entre 1 et 1,2.

A l'examen des formules données par M. Sarrau (*Mémorial des poudres et salpêtres*, t. I), il est facile de reconnaître que, si, pour un résultat balistique déterminé, l'on considère des valeurs de plus en plus faibles de Δ, la longueur u' de la chambre prend des valeurs de plus en plus grandes, pendant qu'au contraire la longueur de parcours du projectile devient de plus en plus petite. On est donc conduit à supposer qu'il existe une valeur de Δ pour

laquelle la longueur totale du canon

$$u + u' = U$$

est un minimum. Cette valeur et celles de u, u' et U qui lui correspondent, ainsi que la façon dont elles varient au voisinage du minimum, constituent ce que l'on s'est proposé d'obtenir. Il ne reste qu'à faire application de ces formules au canon du général Wille pour reconnaître l'impossibilité absolue où l'on serait, en ce moment, de le réaliser, même en utilisant les poudres les plus fortes que l'on ait jusqu'à présent fabriquées.

Comme on s'est proposé de trouver les conditions du minimum de longueur totale des canons, on pourrait se proposer de trouver les conditions du minimum de poids. Cette recherche, dans laquelle interviennent nécessairement des données étrangères à la balistique intérieure proprement dite, semble plus compliquée que la précédente. Elle pourra, si la présente étude paraît digne de quelque intérêt, faire l'objet d'un autre travail.

I. — Étude du canon Wille.

Aux données fournies par le général Wille

$$c = 0{,}7; \qquad \frac{U}{c} = \frac{u + u'}{c} = 40; \qquad p = 6{,}5; \qquad v = 800^{m},$$

nous ajouterons les suivantes, dont la justification est facile. Nous prendrons la densité du chargement égale à $0{,}4$; l'étude du canon de longueur minimum montrera que cette valeur n'est pas choisie d'une façon entièrement arbitraire. Elle est d'ailleurs à peu près conforme aux usages actuels pour les canons de campagne avec les nouvelles poudres.

Le module x de la poudre sera pris égal à $0{,}7$; on aurait pu, sans doute, donner au module une valeur encore plus petite, mais on sait quels sont les inconvénients qui s'attachent à un abaissement exagéré du module : M. Sarrau les a depuis longtemps signalés. En outre, dans le cas actuel, le bénéfice qui résulterait de cet abaissement, au point de vue de la longueur totale du canon, serait très faible.

Enfin, pour la pression maximum, nous adopterons successive-

ment les nombres de 2500^{kg}, 3000^{kg} et 3500^{kg}. Cette dernière valeur nous paraît nettement au delà de ce que la pratique peut avoir l'espoir d'admettre avant quelque temps.

M. Wille suppose que son canon utiliserait la poudre Nobel. La valeur adoptée pour le coefficient $\frac{fa}{\lambda}$, dans l'étude du canon Wille, est celle qui correspond aux poudres les plus fortes qu'on ait obtenues.

Dans ces conditions, le calcul fait à l'aide des formules de M. Sarrau fait connaître les solutions suivantes, en supposant $\frac{c'}{c} = m = 1,1$, valeur habituellement adoptée :

$$\alpha = 0,7, \qquad \Delta = 0,4.$$

$P_0 = 2500.$	3000.	3500.
$\varpi = 1,524^{kg}$	$1,653^{kg}$	$1,770^{kg}$
$u = 34,83$	27,31	22,24
$u' = 8,18$	8,87	9,50
$\frac{U}{c} = 61,44$	51,69	45,34

On voit que, si l'on se limite à la pression maximum de 2500^{kg}, il n'est pas possible d'obtenir les 800^{m} de vitesse demandés, sans atteindre une longueur totale de plus de 60 calibres; le nombre prévu était 40 dans le projet allemand. Pour la pression de 3500^{kg}, il faudrait encore plus de 45 calibres de longueur totale. On verra plus loin comment les résultats obtenus par l'étude du canon de longueur minimum confirment cette conclusion que le projet du général Wille est irréalisable, même théoriquement.

II. — Étude générale d'un canon de longueur minimum.

Sans entrer dans le détail des calculs, très simples en théorie, mais assez compliqués en réalité, par lesquels on parvient à déterminer les conditions du minimum, je vais indiquer ci-après les formules définitives que j'ai obtenues. On désignera par l'indice zéro les valeurs des différentes données correspondantes au canon de longueur minimum.

La première remarque à laquelle on est conduit consiste en ce que

$$\frac{U_0}{u_0}$$

est une simple constante numérique, égale à $\frac{22}{17}$.

Ainsi, pour que le canon puisse être de longueur minimum en vue de réaliser un effet balistique déterminé, il faut que le rapport de la longueur de la chambre à la longueur totale de la pièce soit égal à

$$\frac{6}{23},$$

soit un peu plus de $\frac{1}{4}$. Ce rapport ne dépend ni de la poudre employée, ni même du rapport des calibres de la chambre et de la pièce. Si ce rapport m augmente, il en résulte une diminution de la longueur totale, mais le rapport de la longueur de la chambre à la longueur totale reste le même.

La densité de chargement convenable pour la réalisation du minimum s'exprime par la formule

$$\Delta_0 = F_0(x)\left[\left(\frac{fa}{\lambda}\right)^{-6} P_0^{8}\,\varpi^{-4}\,m^{-9}\right]^{\frac{2}{23}};$$

$F_0(x)$ est une fonction numérique du module, qui a pour expression

$$F_0(x) = \left[\left(\frac{34}{3\pi}\right)^{9} k_1^{5} k_2^{-9}\right]^{\frac{1}{23}} [\varphi^{5}(x)\,\psi^{-9}(x)]^{\frac{1}{23}},$$

et dont voici une table :

x.	$\log F_0(x)$.
1,0	$\bar{3}$,381 80
0,9	$\bar{3}$,411 64
0,8	$\bar{3}$,444 98
0,7	$\bar{3}$,481 95
0,6	$\bar{3}$,523 31

La longueur totale minimum se représente de cette manière

$$\frac{U_0}{\varpi} = F_1(x)\frac{p}{c^2}\left[\left(\frac{fa}{\lambda}\right)^{-2} m^{-3}\,\varpi^{14}\,P_0^{-5}\right]^{\frac{4}{23}}.$$

$F_1(x)$ est une deuxième fonction numérique du module; voici son expression et une table, toute calculée, de ses valeurs

$$F_1(x)=\left[\left(\frac{34}{3\pi}\right)^6 k_1^{\frac{1}{2}} k_2^{17}\right]^{\frac{1}{23}} \frac{23}{17}\left[\varphi^{11}(x)\psi^{17}(x)\right]^{\frac{1}{23}}.$$

x.	$\log F_1(x)$.
1,0	$\bar{4}$,00750
0,9	$\bar{5}$,98163
0,8	$\bar{5}$,95288
0,7	$\bar{5}$,92603
0,6	$\bar{5}$,90433

Appliquons ces formules au cas du canon Wille, pour $\frac{fa}{\lambda}=4$, $x=0,7$, $P_0=3000$; nous trouverons

$$\Delta_0 = 0,3873,$$
$$\frac{\varpi_0}{p} = 0,2617,$$
$$\frac{u_0}{c} = 38,18,$$
$$\frac{U_0}{c} = 51,65.$$

La concordance de ces résultats, calculés directement, avec ceux que renfermait le tableau relatif à l'étude du canon Wille montre que les formules obtenues sont bien exactes. De plus, on reconnaît qu'on ne peut, sans dépasser une pression maximum de 3000^{kg}, réaliser un canon répondant aux conditions balistiques désirées et dont la longueur totale ne dépasse pas 51 calibres.

En général et à moins que les conditions balistiques que l'on se propose de remplir soient très différentes de celles qui sont aujourd'hui usitées, le canon de longueur minimum est assez éloigné de ceux que l'on cherche à obtenir. Toutefois, plus il s'agit de préparer un canon puissant, plus on devra se rapprocher des données du canon de longueur minimum. Mais, quand on regarde comme donnés le module x de la poudre et la pression maximum, ainsi que la vitesse et le poids du projectile, la longueur totale de

la pièce varie très peu au voisinage de son minimum, lorsque l'on fait varier la charge ϖ. Pour gagner un calibre sur la longueur totale du canon, près de ce minimum, il faut augmenter la chambre et par conséquent ϖ d'une quantité notable. Il ne semble donc pas avantageux de réaliser exactement le canon de longueur minimum, mais plutôt un canon un peu plus long, utilisant une charge beaucoup moins considérable. Voici comment on peut procéder pour effectuer cette nouvelle recherche : $\frac{U}{c}$, considérée comme fonction de Δ, ayant un minimum pour $\Delta = \Delta_0$, il en résulte que

$$\frac{d\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta} = 0, \qquad \frac{d^2\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta^2} > 0,$$

pour $\Delta = \Delta_0$; par suite, au voisinage de ce point, on peut représenter approximativement $\frac{U}{c}$ par un développement qui commence au terme $(\Delta - \Delta_0)^2$. Ce développement peut s'écrire de cette manière, en le réduisant au premier terme,

$$\frac{U - U_0}{c} = \gamma(\Delta - \Delta_0)^2.$$

J'ai posé

$$2\gamma = \left[\frac{d^2\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta^2}\right]_{\Delta=\Delta_0}.$$

La valeur de γ est aisée à calculer. Voici son expression

$$\gamma = \frac{p}{c^2} F_2(x)\left[\rho^{18} P_0^{-18}\left(\frac{fa}{\lambda}\right)^4 m^6\right]^{\frac{4}{23}},$$

$$F_2(x) = \frac{23}{27}\left[\left(\frac{34}{3\pi}\right)^{-12} k_1 k_2^{35}\right]^{\frac{1}{23}} [\varphi(x)\,\psi^{35}(x)]^{\frac{1}{23}}.$$

La table de la fonction numérique $F_2(x)$ est donnée ci-dessous :

x.	$\log F_2(x)$.
1,0	1,04304
0,9	0,95749
0,8	0,86206
0,7	0,76127
0,6	0,65685

Il sera souvent plus commode de faire varier directement ϖ, au lieu de Δ. Pour calculer $\frac{U-U_0}{c}$ en fonction de $\frac{\varpi-\varpi_0}{p}$, ϖ_0 désignant la valeur de la charge qui correspond au canon de longueur minimum, on remarquera que

$$\frac{d\left(\frac{U}{c}\right)}{d\left(\frac{\varpi}{p}\right)} = \frac{d\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta}\,\frac{d\Delta}{d\left(\frac{\varpi}{p}\right)},$$

$$\frac{d^2\left(\frac{U}{c}\right)}{d\left(\frac{\varpi}{p}\right)^2} = \frac{d^2\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta^2}\left[\frac{d\Delta}{d\left(\frac{\varpi}{p}\right)}\right]^2 + \frac{d\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta}\,\frac{d^2\Delta}{d\left(\frac{\varpi}{p}\right)^2}.$$

Mais, pour $\Delta = \Delta_0$ ou bien $\varpi = \varpi_0$, $\frac{d\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta}$ étant nul, le second terme du deuxième membre dans la dernière de ces relations est nul.

On a donc

$$\left[\frac{d^2\left(\frac{U}{c}\right)}{d\left(\frac{\varpi}{p}\right)^2}\right]_{\varpi=\varpi_0} = \left\{\frac{d^2\left(\frac{U}{c}\right)}{d\Delta^2}\left[\frac{d\Delta}{d\left(\frac{\varpi}{p}\right)}\right]^2\right\}_{\Delta=\Delta_0}.$$

En conséquence

$$\frac{U-U_0}{c} = \beta\left(\frac{\varpi_0-\varpi}{p}\right)^2,$$

en posant

$$\beta = \gamma\left(\frac{d\Delta}{d\frac{\varpi}{p}}\right)^2_{\Delta=\Delta_0};$$

on trouve ainsi

$$\beta = \frac{p}{c^2}\,F_3(x)\left[\varphi^{-10}m^{-11}P_0^{-3}\left(\frac{f\alpha}{\lambda}\right)^8\right]^{\frac{4}{23}},$$

avec

$$F_3(x) = \frac{69}{64}\left[\left(\frac{34}{3\pi}\right)^{22}k_1^{-21}k_2\right]^{\frac{1}{23}}[\varphi^{-21}(x)\psi(x)]^{\frac{1}{23}},$$

et $\log F_3(x)$ est donné par cette table :

x.	$\log F_3(x)$.
1,0	10,50724
0,9	10,47341
0,8	10,43550
0,7	10,38840
0,6	10,32739

Voici comment on peut faire usage de ces formules : On calculera d'abord les valeurs de Δ_0, $\frac{\varpi_0}{p}$, $\frac{U_0}{c}$, qui correspondent au canon de longueur totale minimum réalisant les conditions balistiques que l'on a en vue; puis, on augmentera la longueur totale de 1 calibre par exemple, en posant donc $\frac{U - U_0}{c} = 1$; la dernière formule fera connaître $\frac{\varpi - \varpi_0}{p}$ et, par suite, ϖ, puisque ϖ_0 est déjà calculé. Il faut seulement observer qu'on ne doit pas attribuer une valeur trop grande à la correction $\frac{U - U_0}{c}$, car les relations obtenues n'étant qu'approchées deviendraient insuffisantes. C'est d'ailleurs précisément pour de petites valeurs de $\frac{U - U_0}{c}$ que le calcul présente quelque intérêt. Il fait connaître combien, sans s'éloigner de plus de 1 calibre, par exemple, de la longueur totale minimum, on peut gagner sur la charge et, par suite, sur le volume de la chambre.

Le calcul de $\frac{\varpi_0}{p}$ peut être conduit de plusieurs manières; la plus simple est, en général, de calculer d'abord $\frac{U_0}{c}$, d'en déduire u_0 et u'_0, ce qui est très simple, puisqu'il n'y a qu'un rapport numérique entre u'_0 et U_0. Connaissant la longueur u'_0 de la chambre et son calibre mc, son volume s_0 s'obtient immédiatement et $\varpi_0 = \frac{s_0}{\Delta_0}$.

On peut aussi obtenir $\frac{\varpi_0}{p}$ par un calcul direct, mais ce moyen ne paraît avantageux que dans des cas exceptionnels. Quoi qu'il en

soit, voici la formule à employer

$$\frac{\varpi_0}{p} = \left[\left(\frac{34}{3\pi}\right)^{-1} k_1^2 k_2\right]^{\frac{8}{23}} [\varphi^2(x)\psi(x)]^{\frac{8}{23}} \left[\left(\frac{fa}{\lambda}\right)^{-5} \rho^{12} m^4 P_0^{-1}\right]^{\frac{4}{23}};$$

elle montre comment varie $\frac{\varpi_0}{p}$ avec les données du problème.

Les formules données dans les pages qui précèdent ne conduisent pas à de longs calculs, grâce au calcul préalable des tables qui font connaître les fonctions numériques du module $F_0(x)$, $F_1(x)$, $F_2(x)$. Mais il est une question, l'une des plus importantes pour la pratique, que ces formules permettent de résoudre avec une simplicité toute particulière. C'est la suivante :

Imaginons que l'on se donne le calibre d'une bouche à feu, le poids du projectile, le calibre de la chambre, la pression maximum, enfin la nature de la poudre et sa vivacité, c'est-à-dire son module, toutes données qui sont déterminées *a priori,* dans chaque cas, par des conditions étrangères à la balistique. Imaginons en outre que l'on se donne la longueur totale de la pièce; l'une des relations indiquées plus haut fera connaître immédiatement et *par une formule monôme* la vitesse qu'on peut pratiquement réaliser. Voici, en effet, comment on peut procéder. Les données primitives sont celles-ci

$$c,\ \frac{fa}{\lambda},\ m,\ P_0,\ x,$$

auxquelles on ajoute la valeur de $\frac{U}{c}$. Celle-ci pourra être considérée comme peu différente de la valeur minimum $\frac{U_0}{c}$; s'il en était autrement, on perdrait inutilement un avantage. On pourra prendre, par exemple, $\frac{U - U_0}{c} = 1$; les calculs faits plus haut à titre d'exemple montrent que cette condition est assez satisfaisante. On aura donc immédiatement $\frac{U_0}{c}$. Or, on a vu que l'on a

$$\frac{U_0}{c} = F_1(x)\frac{p}{c^3}\left[\left(\frac{fa}{\lambda}\right)^{-2} m^{-3}\rho^{14} P_0^{-5}\right]^{\frac{4}{23}},$$

par suite

$$\rho = F_1^{-\frac{23}{56}}(x)\left[\left(\frac{U_0}{c}\right)^{\frac{23}{4}}\left(\frac{p}{c^3}\right)^{-\frac{23}{4}}\left(\frac{fa}{\lambda}\right)^2 m^3 P_0^5\right]^{\frac{1}{14}}.$$

On voit immédiatement sur cette formule comment varie la vitesse maximum pratiquement réalisable pour un nombre de calibres donné de longueur totale, soit avec la force de la poudre, soit avec la pression ou le rapport $m = \frac{c'}{c}$. Il est clair que l'augmentation du calibre de la chambre est avantageux et c'est un point sur lequel il ne semble pas qu'on ait, jusqu'à présent, porté son attention.

L'augmentation de la pression maximum, préconisée notamment par M. Longridge, présente aussi un véritable intérêt, toutes réserves faites évidemment sur les limites qu'une semblable augmentation comporte nécessairement, dans les conditions actuelles de l'industrie métallurgique.

En revanche, l'influence de la force de la poudre est relativement peu considérable; elle dépend seulement du facteur $\left(\frac{fa}{\lambda}\right)^{\frac{1}{7}}$, comme on pouvait s'y attendre d'après les résultats antérieurs établis par M. Sarrau.

Je poserai $\Phi(x) = F_1^{-\frac{23}{56}}(x)$; voici le tableau des valeurs que prend la fonction $\log\Phi(x)$, pour les diverses valeurs usitées de x :

x.	$\log\Phi(x)$.
1,0	1,63978
0,9	1,65040
0,8	1,66221
0,7	1,67324
0,6	1,68215

Pour donner une application de ces formules, proposons-nous de trouver les vitesses pratiquement réalisables dans les conditions suivantes

$$\frac{p}{c^3} = 12, \quad P_0 = 2250, \quad \frac{fa}{\lambda} = 3, \quad x = 1{,}0;\ 0{,}9;\ 0{,}8;\ 0{,}7;\ 0{,}6, \quad m = 1{,}1;\ 1{,}2;$$

pour des valeurs de $\frac{U}{c}$ comprises dans la série

$$\frac{U}{c} = 20,\ 30,\ 40,\ 50,\ 60,\ 70,\ 80,\ 90,\ 100.$$

Les résultats sont contenus dans les tableaux suivants :

$m = 1,1.$

	$\frac{U}{c}$.	20.	30.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
x.....	1,0	513,30	610,60	689,60	757,40	817,30	871,60	921,40	967,60	1010,50
	0,9	525,30	625,00	705,80	775,20	837,50	893,20	944,20	991,60	1035,50
	0,8	540,40	642,90	726,10	797,50	860,60	917,80	970,20	1018,90	1064,10
	0,7	554,30	659,50	744,80	818,00	882,80	941,40	995,20	1045,10	1091,40
	0,6	565,90	673,20	760,30	835,00	901,10	960,90	1015,80	1066,80	1111,50

$m = 1,2.$

	$\frac{U}{c}$.	20.	30.	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
x.....	1,0	522,90	622,10	702,50	771,60	832,70	888,00	938,70	985,90	1029,50
	0,9	535,80	637,50	719,90	790,70	853,30	910,00	962,00	1010,20	1055,00
	0,8	550,60	655,00	739,80	812,50	876,80	935,10	988,50	1038,10	1084,00
	0,7	564,80	671,90	758,80	833,40	899,40	959,10	1013,90	1064,80	1112,00
	0,6	576,50	685,80	774,60	850,70	918,00	979,00	1035,00	1087,00	1135,00

On voit que, ni l'influence du module, ni celle du rapport m, ne sont négligeables. Il y a avantage, pour augmenter les vitesses correspondant à une longueur totale donnée de la pièce, à diminuer le premier et à augmenter le second. L'influence de la longueur totale sur les effets balistiques est très notable, comme le faisait d'ailleurs prévoir la formule. De plus, il est toujours facile de compenser l'effet d'une diminution de longueur de la pièce par une diminution corrélative du rapport $\frac{p}{c^3}$; ces deux quantités n'entrent, en effet, que par leur rapport dans la formule qui donne v. La faiblesse des valeurs choisies pour $\frac{p}{c^3}$ a quelquefois permis à certains industriels d'augmenter l'importance apparente des effets balistiques réalisés par les bouches à feu qu'ils fabriquaient; on voit que cette quantité entre dans les calculs de la même façon que la longueur totale de la pièce, de sorte que son influence sur les vitesses est considérable.

Il faut d'ailleurs se rappeler que l'augmentation des vitesses, due à une augmentation de m ou de $\frac{1}{x}$, est corrélative d'une augmentation des charges. La chambre s'agrandit en même temps que ces variables s'accroissent, bien que la longueur totale de la pièce reste la même.

Pour calculer la longueur de la chambre, le poids de la charge et la densité de chargement, qui correspondent à une des conditions de tir mentionnées dans les tableaux précédents, il suffit de remarquer que la valeur de $\frac{U_0}{c}$ doit être prise égale à $\frac{U}{c}$, diminuée de l'unité. Connaissant alors v et $\frac{U_0}{c}$, les formules indiquées font connaître Δ_0, ϖ_0, puis, à l'aide des corrections

$$\frac{U}{c} - \frac{U_0}{c} = \gamma(\Delta - \Delta_0)^2 = \beta\left(\frac{\varpi - \varpi_0}{p}\right)^2,$$

les valeurs de Δ et de ϖ.

Ajoutons, pour donner une idée du bénéfice que comporterait l'augmentation de la pression maximum, que si elle était portée à 2500, au lieu de 2250, les vitesses, toutes choses égales d'ailleurs, s'accroîtraient d'environ 2,3 pour 100.

Paris, 16 juin 1892.

SUR LES

VIBRATIONS ÉLASTIQUES DES CANONS

PAR

M. ROGER LIOUVILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

INTRODUCTION.

Dans une note insérée aux *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences,* le 26 décembre 1892, M. Vieille a étudié, d'une façon générale, l'emploi des ressorts pour la mesure des pressions explosives et, comme résultat de ses expériences très variées, il a fait connaître que, dans les applications relatives aux phénomènes explosifs, si l'on désigne par τ la durée du développement de la pression, par τ_0 la demi-période du mouvement vibratoire d'un système élastique, soumis à cette pression, il suffit que le rapport

$$\frac{\tau}{\tau_0}$$

prenne une valeur supérieure à 3 ou 4, pour que le fonctionnement statique soit pratiquement assuré.

Ce résultat paraît donner un moyen d'aborder l'étude d'une question, qui présente pour l'artillerie une certaine importance, et sur laquelle on ne possédait jusqu'à présent aucune donnée : c'est la suivante :

Lorsqu'on calcule les éléments de construction d'un canon, c'est par application des formules relatives à l'équilibre d'une masse cylindrique; mais on pouvait douter que ces formules

fussent légitimement applicables. Le canon est en effet soumis, dans la pratique, à des pressions de durée très courte, qui pourraient, semble-t-il, le mettre en vibration élastique et c'est alors, non plus une étude d'équilibre, mais de mouvement qui s'imposerait.

Cette étude, assez difficile à faire d'une façon simple, n'a pas encore été essayée.

Il y a donc quelque intérêt à rechercher si l'application du principe, démontré expérimentalement par M. Vieille, permet de conclure que les canons, dans les conditions habituelles de leur emploi, résistent *statiquement* aux pressions explosives qu'ils subissent, ou s'il en est autrement.

Il faut, pour parvenir à une conclusion sur ce point, calculer le rapport $\frac{\tau}{\tau_0}$, déjà défini. L'un des éléments de ce calcul, la valeur de τ, est donné encore par les expériences de M. Vieille, mais il n'en est pas ainsi de la valeur de τ_0, qui paraît inabordable à l'expérience et doit être demandée à des recherches théoriques.

Ce sont ces recherches que M. Sarrau et M. Vieille m'ont engagé à entreprendre et dont je me propose de faire connaître les résultats dans les pages suivantes.

On comprend d'abord que, pour rendre la question accessible aux moyens de calcul dont on dispose, il est nécessaire de la définir avec simplicité au point de vue mathématique.

La loi suivant laquelle les pressions varient en fonction du temps, dans l'âme des canons, est aujourd'hui à peu près connue, mais elle aurait une expression assez compliquée, si on la voulait représenter avec précision. De plus, le mouvement du canon ne peut, en toute rigueur, admettre une période, que si les pressions appliquées sont elles-mêmes des fonctions périodiques du temps ou bien des constantes. Nous supposerons que c'est ce dernier cas qui a lieu.

L'étude entreprise est ainsi celle d'une sorte de cas limite et l'on conçoit sans peine, sans en donner ici la preuve, qu'étant donnés un canon et son mode de chargement, si l'on considère une pression constante, égale à la valeur maximum donnée par l'expérience, appliquée d'ailleurs pendant tout le temps nécessaire à la production de ce maximum, on impose à la pièce des conditions

moins favorables à sa résistance statique que celles dont la pratique assure la réalisation.

Au reste, si l'on a égard au principe établi par M. Vieille, la question n'est plus de déterminer le mouvement élastique du canon et les tensions correspondantes du métal, mais il s'agit de déterminer seulement ce qui doit être pris pour τ_0, dans le rapport caractéristique $\frac{\tau}{\tau_0}$ et, notamment, quelles sont les périodes des divers mouvements possibles, sous l'action de forces constantes.

Si le rapport dont il s'agit a une valeur suffisante, on sera réduit à examiner les conditions de résistance statique de la pièce, auxquelles le constructeur a dû satisfaire.

Voici donc, sous le bénéfice de ces observations et après quelques simplifications indispensables, comment se pose le problème à résoudre.

On donne un cylindre élastique creux, de révolution, terminé par deux faces planes perpendiculaires à l'axe, ayant son rayon intérieur égal à r_0, son rayon extérieur égal à r_1, pour longueur totale $2z_0$ et l'on suppose que cette masse est soumise :

1° A une pression intérieure P_0 et à une pression extérieure P_1, constantes et uniformes sur toute la surface cylindrique;

2° A deux pressions F, égales, dirigées suivant l'axe du cylindre et uniformément appliquées sur les faces extrêmes.

Il s'agit de savoir quels sont les mouvements périodiques que peut prendre ce solide et, en particulier, quelle est leur période.

Le déplacement d'un point de la masse métallique, à un instant quelconque, s'exprime au moyen du temps et de deux paramètres de position.

Je forme d'abord une équation aux dérivées partielles, linéaire et du second ordre, contenant une seule fonction inconnue, avec trois variables indépendantes et dont l'étude suffit pour obtenir la solution complète du problème; cette équation doit être satisfaite en chaque point de la masse vibrante. Aux surfaces libres, la fonction inconnue et ses dérivées partielles des deux premiers ordres doivent vérifier en outre certaines relations linéaires, qui résultent immédiatement, comme la précédente, des principes de la théorie de l'élasticité.

Une étude plus attentive de ces relations permet d'en déduire

l'équation transcendante qui détermine les périodes de tous les mouvements périodiques possibles.

Si l'on désigne par r la distance, à l'axe du cylindre, d'un point matériel, dans l'état naturel du solide, par z sa distance au plan, parallèle aux faces extrêmes et d'ailleurs également éloigné de ces dernières, dans chacun des mouvements périodiques possibles l'accroissement ε de la distance r est une fonction de r et de z, multipliée par une fonction simple du temps, telle que $\sin kt$ ou $\cos kt$. La période est inversement proportionnelle à k.

En désignant par ξ_0 une quantité proportionnelle à cette constante k et, de plus, à r_0, par ξ_1 le produit

$$\frac{r_1 \xi_0}{r_0},$$

par I et Y respectivement les fonctions de Bessel, de première et de seconde espèce, d'indice zéro, l'équation qui détermine les périodes de tous les mouvements possibles est de la forme suivante

$$H(\xi_0) = H(\xi_1),$$

et l'on doit prendre

$$H(\xi) = \frac{(\lambda + 2\mu)Y'(\xi) + 2(\lambda + \mu)\xi Y(\xi)}{(\lambda + 2\mu)I'(\xi) + 2(\lambda + \mu)\xi I(\xi)}.$$

Pour discuter plus rapidement les racines de cette équation, je fais ici plusieurs hypothèses, qui servent d'ailleurs uniquement à fixer les idées et ne sont pas nécessaires à l'analyse dont il est fait usage. Les coefficients d'élasticité, λ et μ, du solide en vibration sont supposés liés par la relation

$$\lambda = 2\mu,$$

sensiblement vérifiée pour l'acier; de plus, le rapport

$$\frac{r_1}{r_0}$$

est pris égal à 3, en sorte que le cylindre étudié est d'épaisseur égale à son calibre.

Cela étant, une discussion facile conduit aux valeurs des périodes pour le son fondamental et ses deux premiers harmoniques. Toutefois, les calculs numériques d'où résultent les valeurs cher-

chées ne sont pas sans quelques longueurs. Il existe bien, en effet, des tables étendues des fonctions de Bessel, de première espèce, mais il n'en est pas de même pour celles de seconde espèce. Je donnerai plus loin un tableau dans lequel j'ai réuni quelques-unes des valeurs de cette fonction ou plutôt d'une quantité qui s'y rattache très simplement. Ces valeurs sont celles que j'ai eues à employer ou dont je pense avoir besoin pour un autre travail; elles ne constituent donc pas une table régulière de la fonction dont il s'agit. Au reste, je donne les neuf premiers coefficients de la série qui représente cette fonction; ils permettent d'obtenir les valeurs cherchées avec beaucoup d'exactitude, si les valeurs de la variable ne sont pas trop grandes. Pour des valeurs un peu grandes de cette variable, il vaut mieux employer les expressions asymptotiques des fonctions de Bessel, expressions qui sont bien connues.

Si l'on prend le calibre $2r_0$ égal à

$$0^m,10,$$

on trouve ainsi que la période du son fondamental est à peu près

$$T_1 = 0'',0001726,$$

et voici celles de ses deux premiers harmoniques :

$$T_2 = 0'',00007479, \qquad T_3 = 0'',00002787.$$

On s'est borné à ces trois mouvements, parce qu'une approximation assez grossière était suffisante pour le but que nous avions en vue, mais il n'y aurait aucune difficulté à poursuivre les calculs; ils deviendraient au contraire de plus en plus simples et précis, par suite d'une circonstance, sur laquelle je n'insiste pas et que la recherche de T_3 met déjà nettement en évidence.

Cependant on ne peut, pour le problème que l'on avait à résoudre, se borner au calcul des périodes $T_1, T_2, T_3, \ldots$. Chacune d'elles correspond à un mouvement périodique possible, dont les éléments dépendent de plusieurs constantes encore arbitraires. Le mouvement qui prend naissance en réalité est le résultat de la superposition d'une infinité de ces mouvements périodiques; chacun d'eux y doit figurer avec une amplitude qui dépend des

pressions P_0, P_1, F, ainsi que des données initiales et qui n'est pas encore déterminée.

Cette détermination exige une étude beaucoup plus complète des intégrales du problème.

Nous nous sommes borné à l'étude des phénomènes qui se produisent auprès d'une extrémité du tube. La question, ainsi limitée, se trouve dépendre du développement de la fonction

$$Ar + \frac{B}{r},$$

A et B étant des constantes données, en une série de fonctions de Bessel, qui contiennent l'argument r multiplié par des facteurs croissant d'après une certaine loi avec l'indice du terme que l'on considère. Ce développement est d'une nature assez compliquée et les coefficients des divers termes qui y entrent ne semblent pas pouvoir se calculer séparément avec facilité, comme il arrive pour les séries trigonométriques de Fourier.

Leur calcul paraît abordable par l'emploi des déterminants d'ordre infini, mais, comme il s'agit seulement ici d'obtenir les valeurs numériques des premiers termes et non l'expression générale d'un terme de rang quelconque, le problème se simplifie : on peut se contenter de développer, à la fois, la fonction

$$Ar + \frac{B}{r},$$

et les fonctions de Bessel qui en donneraient la représentation cherchée, suivant les puissances entières et positives de la quantité

$$\frac{r_1 - r}{r_1 - r_0},$$

ou de celle-ci

$$\frac{r - r_0}{r_1 - r_0};$$

la comparaison des coefficients de ces développements fait connaître les premiers termes de la série qui représenterait

$$Ar + \frac{B}{r}$$

par des fonctions de Bessel, à la manière indiquée.

Afin de préciser, le calcul a été fait, en supposant P_0 égal à

2000^{kg} par centimètre carré,

$P_1 = 0$, F égale à la pression totale qui résulte de 2000^{kg} par centimètre carré appliqués sur un cercle du diamètre de 0^m,10, cette pression totale étant d'ailleurs uniformément répartie sur la surface de la tranche métallique extrême.

Les résultats de ce calcul sont assez curieux. Des trois mouvements périodiques, dont la superposition fait connaître le mouvement réel, près d'une extrémité du tube, au degré d'approximation que nous avons admis, le premier et le second sont de beaucoup les plus importants. Leur amplitude est au moins dix fois plus grande que celle du troisième harmonique. Le mouvement vrai diffère donc peu de la superposition de deux mouvements périodiques simples, dont les périodes, dans les conditions énoncées plus haut, sont sensiblement $T_1 = 0'',0001726$ et $T_2 = 0'',0000747\,9$.

Il reste à savoir quelle est la quantité τ_0, qui doit être introduite dans le rapport $\frac{\tau}{\tau_0}$, pour appliquer le principe expérimentalement établi par M. Vieille.

On comprend d'abord immédiatement que, au point de vue théorique, la question exigerait l'étude du mouvement d'un tube élastique, sous des pressions variables, fonctions données du temps t. C'est là une étude que nous réservons pour une autre Note et pour laquelle le présent travail fait d'ailleurs connaître des éléments essentiels.

Sans l'entreprendre en ce moment, on peut se demander s'il y a lieu de prendre pour τ_0 l'une des demi-périodes et, dans ce cas, laquelle il convient de choisir, ou s'il faut, effectuant une autre généralisation des résultats acquis pour les ressorts simples, regarder τ_0 comme égal au temps nécessaire à la première élongation maximum, en certains points du tube, ou enfin s'il doit être déterminé d'une manière plus compliquée. Dans l'état actuel des recherches et quelle que soit la conclusion acceptée, sur ce point, si l'on examine l'état de mouvement, réalisé par la superposition des deux premiers mouvements simples, il semble probable, d'après leur importance et leur nature, qu'en prenant pour τ_0 la demi-période du son fondamental, on s'écartera peu de la vérité,

du moins dans le cas particulier que nous avons étudié; on aurait donc

$$\tau_0 = 0'',0000863,$$

pour un tube d'acier du calibre de $0^m,10$ et d'épaisseur égale au calibre. Alors même que l'on prendrait pour τ la durée d'établissement du maximum de pression dans les canons de 90^{mm}, tirant la poudre BC, dans les conditions ordinaires de son emploi, l'adoption du nombre précédent donnerait au rapport $\frac{\tau}{\tau_0}$ une valeur supérieure à 4. Mais le rapport $\frac{\tau}{\tau_0}$ est trop voisin de sa limite et la détermination de τ_0 trop peu certaine pour qu'on puisse se dispenser de l'étude des pressions variables. Toutefois il paraît, dès à présent, probable que la plupart des canons résistent presque statiquement aux pressions qu'ils subissent; c'est la conclusion de cette première étude.

ANALYSE.

Je prends trois axes de coordonnées rectangulaires, l'axe des z coïncidant avec celui du cylindre, et je détermine la position d'un point du solide à l'état naturel, soit par ses coordonnées x, y, z, relatives à ces trois axes, soit par la distance r de ce point à l'axe de révolution, par la valeur de z et par l'angle ω que fait, avec un plan fixe passant par l'axe du cylindre, le plan diamétral contenant le point considéré.

Suivant une notation habituelle, je représente par u, v, w les composantes, suivant les axes des x, y, z respectivement, du déplacement d'un point ayant pour coordonnées, à l'état naturel, x, y, z. D'une autre façon, le déplacement de ce point peut être regardé comme résultant de deux autres, l'un, ε, dirigé suivant le rayon r de la couche cylindrique à laquelle il appartient, l'autre, w, normal au précédent et dirigé suivant l'axe du cylindre. Je désigne par λ et μ les coefficients d'élasticité du solide supposé isotrope, par θ la dilatation cubique en un point x, y, z. Il est clair, d'après la symétrie, que ε et w sont des fonctions des seules variables r, z et t et ne dépendent pas de l'angle ω. Je puis donc

écrire

$$u = \frac{\varepsilon x}{r}, \qquad v = \frac{\varepsilon y}{r}, \tag{1}$$

et, comme

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z},$$

il en résulte

$$\theta = \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} + \frac{\varepsilon}{r} + \frac{\partial w}{\partial z}. \tag{2}$$

Si l'on pose, pour abréger,

$$\Delta u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2},$$

les équations du mouvement sont les suivantes :

$$\begin{cases} (\lambda + \mu)\dfrac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \Delta u = \rho \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ (\lambda + \mu)\dfrac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \Delta v = \rho \dfrac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ (\lambda + \mu)\dfrac{\partial \theta}{\partial z} + \mu \Delta w = \rho \dfrac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \end{cases} \tag{3}$$

où ρ représente la densité de la matière homogène qui compose le tube. En introduisant les coordonnées r, ω, z dans les deux premières équations, en même temps que les expressions (1), l'on voit immédiatement qu'elles se réduisent toutes deux à celles-ci :

$$(\lambda + 2\mu)\left(\frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \varepsilon}{\partial r} - \frac{\varepsilon}{r^2}\right) + (\lambda + \mu)\frac{\partial^2 w}{\partial r\, \partial z} + \mu \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial z^2} - \rho \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} = 0; \tag{4}$$

quant à la dernière équation (3), elle peut s'écrire

$$\begin{cases} (\lambda + \mu)\left(\dfrac{\partial^2 \varepsilon}{\partial r\, \partial z} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial \varepsilon}{\partial z}\right) \\ \quad + (\lambda + 2\mu)\dfrac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \mu\left(\dfrac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial w}{\partial r}\right) - \rho \dfrac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \end{cases} \tag{5}$$

Le problème est donc de trouver deux fonctions ε et w de r, z et t qui vérifient ces deux équations indéfinies, ainsi que les conditions aux surfaces dont nous aurons à parler plus loin.

Tout d'abord, si l'on différentie l'équation (4) par rapport à z

et l'équation (5) par rapport à r, puis que l'on retranche l'un de l'autre les résultats obtenus, on trouve

$$(6)\quad \left\{\begin{array}{l} \mu\left[\dfrac{\partial^2}{\partial r^2}\left(\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial z}-\dfrac{\partial w}{\partial r}\right)+\dfrac{\partial^2}{\partial z^2}\left(\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial z}-\dfrac{\partial w}{\partial r}\right)\right. \\ \qquad \left.+\dfrac{1}{r}\dfrac{\partial}{\partial r}\left(\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial z}-\dfrac{\partial w}{\partial r}\right)-\dfrac{1}{r^2}\left(\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial z}-\dfrac{\partial w}{\partial r}\right)\right]-\rho\dfrac{\partial^2}{\partial t^2}\left(\dfrac{\partial\varepsilon}{\partial z}-\dfrac{\partial w}{\partial r}\right)=0. \end{array}\right.$$

Cette équation est satisfaite, si l'on suppose

$$(7)\qquad \frac{\partial\varepsilon}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial r}=0,$$

et, dans ce cas,

$$\varepsilon\,dr+w\,dz$$

est une différentielle exacte, $d\varphi$. Comme la relation (7) a évidemment lieu à l'instant initial, il est aisé de montrer que, en vertu de l'équation (6), elle est vérifiée quel que soit t. On peut donc poser, en désignant par φ une inconnue nouvelle, qui est une fonction de r, z et t,

$$(8)\qquad \varepsilon=\frac{\partial\varphi}{\partial r},\qquad w=\frac{\partial\varphi}{\partial z};$$

substitution faite de ces valeurs dans les équations (4) et (5), l'une d'elles a pour premier membre la dérivée, par rapport à r, de l'expression suivante :

$$(\lambda+2\mu)\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial r^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)-\rho\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2};$$

l'autre a pour premier membre la dérivée, par rapport à z, de la même expression; ces deux dérivées devant être nulles, il en faut conclure

$$(9)\qquad (\lambda+2\mu)\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial r^2}+\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)-\rho\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}=F(t),$$

F étant une fonction arbitraire de la seule variable t. Mais, d'après la définition même de la fonction φ, je puis lui ajouter une fonction arbitraire de t, puisque ses dérivées, par rapport à r et à z, sont seules données et, par un choix convenable de cette arbitraire, on peut évidemment faire en sorte que $F(t)$ soit remplacée par zéro dans le second nombre de l'équation (9). Je suppose

donc qu'on ait ainsi complété la définition de l'inconnue φ, de sorte qu'il s'agit de satisfaire à l'équation suivante

$$(10) \qquad (\lambda + 2\mu)\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right) - \rho\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} = 0.$$

Le rapport

$$(11) \qquad \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = a$$

est, comme on le sait, la vitesse de propagation des vibrations longitudinales dans le métal du tube et, si on veut l'introduire explicitement, l'équation (10) devient

$$(12) \qquad \frac{\partial^2\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial r} - \frac{1}{a^2}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} = 0.$$

Voyons maintenant quelles sont les équations à la surface : sur la surface cylindrique intérieure, de rayon r_0, il y a une pression normale et uniforme P_0. En faisant passer l'axe des x par le point particulier considéré, d'ailleurs quelconque, on a, pour ce point,

$$x = r, \qquad y = 0,$$

et, si l'on représente, selon une notation habituelle, par N_1, N_2, N_3; T_1, T_2, T_3 les tensions élastiques en chaque point, on a

$$N_1 = -P_0 = \lambda\theta + 2\mu\frac{\partial\varepsilon}{\partial r} = (\lambda + 2\mu)\frac{\partial^2\varphi}{\partial r^2} + \frac{\lambda}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial r} + \lambda\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2};$$

Sur le cylindre r_1,

$$N_1 = -P_1,$$

le tout pour des points appartenant à la masse métallique, c'est-à-dire pour des valeurs de z comprises entre $-z_0$ et $+z_0$.

Sur les mêmes cylindres r_0, r_1, les tensions T_2, T_3 s'évanouissent, puisque les forces appliquées sont des pressions normales P_0, P_1.

Sur les faces planes qui limitent le tube, T_1 et T_2 s'évanouissent pour la même raison, $N_3 = F$. En résumé, par conséquent, d'après les formules bien connues qui donnent T_1, T_2, T_3, la fonction φ doit satisfaire aux conditions à la surface indiquées

ci-dessous :

$$(13)\quad \begin{cases} -z_0 \leq z \leq +z_0 \begin{cases} r = r_0, & (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial r^2} + \dfrac{\lambda}{r}\dfrac{\partial\varphi}{\partial r} + \lambda\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = -P_0, \quad \dfrac{\partial^2\varphi}{\partial r\,\partial z} = 0, \\ r = r_1, & (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial r^2} + \dfrac{\lambda}{r}\dfrac{\partial\varphi}{\partial r} + \lambda\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = -P_1, \quad \dfrac{\partial^2\varphi}{\partial r\,\partial z} = 0; \end{cases} \\ r_0 \leq r \leq r_1, \quad z = \pm z_0 \quad \left\{ \dfrac{\partial^2\varphi}{\partial r\,\partial z} = 0, \qquad \lambda\left(\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial r^2} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\varphi}{\partial r}\right) + (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = F. \right. \end{cases}$$

Parmi les fonctions φ qui satisfont à l'équation indéfinie (12) et aux équations précédentes, il y en a une, φ_0, qui correspond à l'équilibre du tube. Puisque les forces appliquées sont indépendantes du temps et se feraient équilibre sur un solide invariable, le repos est en effet l'un des cas possibles. Au reste, quand l'équilibre du solide élastique a lieu, les conditions d'intégrabilité de la différentielle

$$\varepsilon\,dr + w\,dz,$$

sont vérifiées. Soit donc

$$\psi = \varphi - \varphi_0;$$

la nouvelle inconnue ψ satisfait encore à l'équation linéaire (12), puisque φ et φ_0 y satisfont; de plus, les conditions (13) deviennent, pour la fonction ψ, les suivantes :

$$(14)\quad \begin{cases} -z_0 \leq z \leq z_0, \\ r = r_0 \text{ ou } r_1 \end{cases} \left\{ (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial^2\psi}{\partial r^2} + \dfrac{\lambda}{r}\dfrac{\partial\psi}{\partial r} + \lambda\dfrac{\partial^2\psi}{\partial z^2} = 0, \qquad \dfrac{\partial^2\psi}{\partial r\,\partial z} = 0; \right.$$

$$\begin{cases} r_0 \leq r \leq r_1 \\ z = \pm z_0 \end{cases} \left\{ \dfrac{\partial^2\psi}{\partial r\,\partial z} = 0, \qquad \lambda\left(\dfrac{\partial^2\psi}{\partial r^2} + \dfrac{1}{r}\dfrac{\partial\psi}{\partial r}\right) + (\lambda+2\mu)\dfrac{\partial^2\psi}{\partial z^2} = 0. \right.$$

Les mouvements cherchés étant périodiques, posons

$$(15)\qquad \psi = f(r, z)\cos kt :$$

k est une constante qu'il s'agit précisément de calculer; d'après la formule (15),

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} = -k^2\psi,$$

de sorte que l'équation (12) devient, après suppression du facteur $\cos kt$, commun à tous les termes,

$$(16)\qquad \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial r} + \frac{k^2}{a^2}f = 0.$$

Mais, si l'on change de variables, en posant

$$(17)\qquad R = \frac{kr}{a}, \qquad Z = \frac{kz}{a}, \qquad f = \frac{a^2 F(r,z)}{k^2},$$

$\frac{k^2}{a^2}$ n'entre plus dans l'équation qui définit F, et voici cette équation :

$$(18)\qquad \frac{\partial^2 F}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial Z^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial F}{\partial R} + F = 0;$$

de plus, les conditions (14) se transforment en les suivantes :

$$(19)\quad \begin{cases} -Z_0 < Z < Z_0 \\ R = R_0 \text{ ou } R_1 \end{cases} \quad (\lambda + 2\mu)\frac{\partial^2 F}{\partial R^2} + \frac{\lambda}{R}\frac{\partial F}{\partial R} + \lambda \frac{\partial^2 F}{\partial Z^2} = 0, \qquad \frac{\partial^2 F}{\partial R\,\partial Z} = 0;$$

$$\begin{cases} R_0 < R < R_1 \\ Z = \pm Z_0 \end{cases} \quad \lambda\left(\frac{\partial^2 F}{\partial R^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial F}{\partial R}\right) + (\lambda + 2\mu)\frac{\partial^2 F}{\partial Z^2} = 0, \qquad \frac{\partial^2 F}{\partial R\,\partial Z} = 0;$$

J'examine d'abord la dernière équation (19); à l'aide de l'équation indéfinie (18), je puis en éliminer

$$\frac{\partial^2 F}{\partial Z^2},$$

ce qui donne, toutes réductions faites,

$$(20)\qquad 2\mu\left(\frac{\partial^2 F}{\partial R^2} + \frac{1}{R}\frac{\partial F}{\partial R}\right) + (\lambda + 2\mu)F = 0, \qquad (Z = \pm Z_0).$$

Soit, pour abréger,

$$(21)\qquad R\sqrt{1 + \frac{\lambda}{2\mu}} = \xi;$$

l'équation précédente (20) équivaut à celle-ci :

$$(22)\qquad \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi}\frac{\partial F}{\partial \xi} + F = 0,$$

qui définit les fonctions de Bessel, d'indice égal à zéro.

Soit I la fonction de première espèce, Y celle de seconde espèce, de sorte que l'intégrale générale de l'équation précédente, soit

$$(23)\qquad F = c_1 I + c_2 Y,$$

c_1 et c_2 étant des constantes arbitraires.

Il existe des tables pour la fonction de première espèce et pour sa première dérivée; on les trouve soit dans les Œuvres de Bessel (*Abhandlungen*, erster Band : *Planetarische Störungen aus der Bewegung der Sonne*), soit dans une monographie publiée à Leipzig en 1868 par Lommel (*Studien über die Bessel'schen Functionen*).

Quant à la fonction Y, de seconde espèce, elle est développable, en série toujours convergente, sous la forme

$$Y = 2 \sum_{(0 \leq \mu < \infty)} \frac{(-1)^\mu \xi^{2\mu}}{2^{2\mu} \Gamma^2(\mu+1)} \left[L\left(\frac{\xi}{2}\right) - \frac{\Gamma'(\mu+1)}{\Gamma(\mu+1)} \right];$$

L désigne un logarithme *népérien* et Γ, Γ' sont la fonction Γ bien connue [$\Gamma(\mu+1) = 1.2.3.\ldots.\mu$] et sa dérivée. On peut écrire aussi l'expression précédente de cette manière

$$Y = 2I\,L\left(\frac{\xi}{2}\right) - 2Z(\xi), \tag{24}$$

$Z(\xi)$ désignant la série de puissances paires,

$$Z(\xi) = \sum_{0 \leq \mu < \infty} \frac{(-1)^\mu \Gamma'(\mu+1) \xi^{2\mu}}{\Gamma^2(\mu+1) 2^{2\mu}} = a_0 - a_1 \xi^2 + a_2 \xi^4 - a_3 \xi^6 + \ldots. \tag{25}$$

Voici d'ailleurs les valeurs des coefficients $a_0, a_1, \ldots, a_9$

$$a_0 = -0,57721.$$

$\log a_1 = \bar{1},02407,$	$\log a_4 = \bar{5},01919,$	$\log a_7 = \overline{12},68511,$
$\log a_2 = \bar{2},15897,$	$\log a_5 = \bar{7},06335,$	$\log a_8 = \overline{14},30303,$
$\log a_3 = \bar{4},73656,$	$\log a_6 = \overline{10},94547,$	$\log a_9 = \overline{17},81447.$

Ces valeurs permettent de calculer sans peine $Z(\xi)$ et par suite $Y(\xi)$, quand la variable ne dépasse pas certaines limites, par exemple 5 ou 6. Pour des valeurs plus grandes de la variable, la série, bien que convergente, serait peu commode et il vaut mieux alors procéder autrement, comme nous allons l'expliquer.

On connaît, en effet, pour des valeurs très grandes de ξ, une expression asymptotique de la fonction I : c'est la suivante

$$I = \sqrt{\frac{2}{\pi \xi}} \cos\left(\xi - \frac{\pi}{4}\right), \qquad (\xi \text{ réel et positif}), \tag{26}$$

et l'on en déduit aisément l'expression asymptotique de Y

$$(27) \qquad Y = \sqrt{\frac{2\pi}{\xi}} \sin\left(\xi - \frac{\pi}{4}\right), \qquad (\xi \text{ réel et positif}).$$

Bien que la différence entre la valeur véritable de Y ou de I et sa valeur asymptotique ne tende vers zéro que si la variable ξ augmente indéfiniment, cette différence est déjà très petite et négligeable pour des valeurs médiocrement grandes de ξ et les formules (26) et (27) sont d'une application assez commode. On pourrait d'ailleurs obtenir une approximation plus grande, mais cela est inutile pour le but que nous nous proposons.

D'après ce qui a été dit plus haut, pour $Z = \pm Z_0$, la fonction F, qui ne dépend plus alors que de R et par suite de ξ, peut être représentée par

$$c_1 I + c_2 Y;$$

cela signifie que le premier terme du développement de l'inconnue F, suivant les puissances entières et positives de $Z - Z_0$ ou de $Z + Z_0$, est l'expression précédente; il serait facile d'en déduire les termes suivants et l'on aurait ainsi une série satisfaisant *formellement* aux équations différentielles du problème. Il resterait à en étudier la convergence.

Mais, lorsqu'il s'agit de calculer seulement les périodes des mouvements possibles, cette recherche n'est pas indispensable. Si l'on se reporte, en effet, aux deux premières relations (19), on voit qu'en vertu de l'équation indéfinie (18), vérifiée en tous les points de la masse élastique, on peut éliminer $\frac{\partial^2 F}{\partial Z^2}$ de la première équation (19), ce qui donne, pour $R = R_0$ ou R_1,

$$2\mu \frac{\partial^2 F}{\partial R^2} - F\lambda = 0,$$

c'est-à-dire

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} - \lambda F = 0,$$

ou, d'après l'équation (22),

$$(28) \qquad (\lambda + 2\mu) \frac{\partial F}{\partial \xi} + 2\xi(\lambda + \mu) F = 0.$$

Soit ξ_0 la valeur de ξ, qui correspond à $R = R_0$, ξ_1 celle qui

correspond à $R = R_1$. L'équation (28) devant être vérifiée, à la fois pour $\xi = \xi_0$ et pour $\xi = \xi_1$, on en conclut

$$(29)\qquad \begin{cases} (\lambda + 2\mu)[c_1 I'(\xi_0) + c_2 Y'(\xi_0)] \\ \quad + 2\xi_0(\lambda + \mu)[c_1 I(\xi_0) + c_2 Y(\xi_0)] = 0, \\ (\lambda + 2\mu)[c_1 I'(\xi_1) + c_2 Y'(\xi_1)] \\ \quad + 2\xi_1(\lambda + \mu)[c_1 I(\xi_1) + c_2 Y(\xi_1)] = 0, \end{cases}$$

et l'on a, pour satisfaire à ces deux conditions, les constantes encore indéterminées c_1, c_2; de plus, la valeur de ξ_0, car cette valeur

$$(30)\qquad \xi_0 = R_0\sqrt{1 - \frac{\lambda}{2\mu}} = \frac{k r_0}{a}\sqrt{1 + \frac{\lambda}{2\mu}}$$

contient encore l'arbitraire k.

Les relations (29) étant linéaires et homogènes en c_1, c_2, il faut que l'on ait l'égalité

$$(32)\qquad \begin{cases} \dfrac{(\lambda + 2\mu) Y'(\xi_1) + 2(\lambda + \mu)\xi_1 Y(\xi_1)}{(\lambda + 2\mu) I'(\xi_1) + 2(\lambda + \mu)\xi_1 I(\xi_1)} \\ \quad = \dfrac{(\lambda + 2\mu) Y'(\xi_0) + 2(\lambda + \mu)\xi_0 Y(\xi_0)}{(\lambda + 2\mu) I'(\xi_0) + 2(\lambda + \mu)\xi_0 I(\xi_0)}. \end{cases}$$

C'est elle qui détermine k et par suite la période. Elle ne contient pas en effet d'autre inconnue, car évidemment

$$(32a)\qquad \xi_1 = \frac{r_1}{r_0}\xi_0,$$

en sorte que le rapport

$$\frac{\xi_1}{\xi_0}$$

est déterminé par les conditions du problème.

Pour abréger l'écriture, je supposerai maintenant, comme on le fait d'ordinaire pour les métaux à canon,

$$(33)\qquad \lambda = 2\mu;$$

l'équation (31) devient alors

$$(34)\qquad \frac{2Y'(\xi_1) + 3\xi_1 Y(\xi_1)}{2I'(\xi_1) + 3\xi_1 I(\xi_1)} = \frac{2Y'(\xi_0) + 3\xi_0 Y(\xi_0)}{2I'(\xi_0) + 3\xi_0 I(\xi_0)};$$

elle renferme I, Y et leurs dérivées premières, mais il est aisé de faire disparaître Y', qui compliquerait un peu le calcul.

Entre deux solutions distinctes I et Y, de l'équation (22), il existe toujours en effet la relation suivante

$$I(\xi)\,Y'(\xi) - I'(\xi)\,Y(\xi) = \frac{c}{\xi}, \tag{35}$$

la constante c ayant une valeur quelconque.

Quand les solutions I et Y sont choisies comme nous l'avons fait, cette constante prend une valeur déterminée, que l'on calcule en faisant $\xi = 0$, par exemple; on la trouve ainsi égale à 2.

A l'aide de l'équation (35), on peut éliminer Y′ de l'équation à résoudre et, si l'on pose

$$H(\xi) = \frac{Y(\xi)}{I(\xi)} + \frac{4}{\xi I(\xi)[2I'(\xi) + 3\xi I(\xi)]}, \tag{36}$$

elle devient

$$H(\xi_1) = H(\xi_0), \tag{37}$$

ou bien

$$H\left(\frac{r_1}{r_0}\xi_0\right) - H(\xi_0) = 0. \tag{38}$$

Pour la discuter, j'aurai besoin de calculer la dérivée $H'(\xi)$; en vertu de l'équation (22), on lui donne aisément la forme

$$H'(\xi) = \frac{2(9\xi^2 - 8)}{\xi[2I'(\xi) + 3\xi I(\xi)]^2}. \tag{39}$$

D'ailleurs, quand $+\xi$ s'annule, l'équation (24) montre que

$$Y(\xi) = -\infty;$$

$I(0)$ est en effet égale à 1 et $L\left(\frac{\xi}{2}\right) = -\infty$. Mais le dernier terme de la relation (36) est infini positif et prépondérant, de sorte que

$$H(0) = +\infty. \tag{40}$$

La dérivée $H'(\xi)$ reste d'ailleurs négative, pour toutes les valeurs de ξ positives et inférieures à

$$\frac{2\sqrt{2}}{3} = 0{,}94.$$

Dès que l'inégalité

$$\xi > \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

est vérifiée, $H'(\xi)$ reste toujours positive et, par conséquent, $H(\xi)$ toujours croissante.

Il est clair que l'équation (38) ne peut être satisfaite, sans que la variable ξ ait passé, entre ξ_0 et $\xi_1 = \frac{r_1 \xi_0}{r_0}$, par une valeur qui rende minima la fonction H.

Supposons, pour fixer les idées,

$$r_1 = 3 r_0,$$

ce qui répond à un cylindre creux, d'épaisseur égale au calibre. D'après ce qu'on vient d'établir, deux conclusions sont possibles : ou bien

$$\xi_0 < \frac{2\sqrt{2}}{3}, \qquad \xi_1 = 3\xi_0 > \frac{2\sqrt{2}}{3},$$

ou bien $H'(\xi)$ a passé par une discontinuité, pour une valeur de ξ, inférieure à $3\xi_0$ et supérieure à ξ_0.

J'examine la première hypothèse,

$$\frac{2\sqrt{2}}{9} < \xi_0 < \frac{2\sqrt{2}}{3}.$$

Une étude plus attentive, que je supprime ici, montre que, afin de satisfaire à l'équation

$$H(\xi_0) = H(3\xi_0),$$

il convient alors de prendre ξ_0 voisin de 0,52 et un peu supérieur à ce nombre. La valeur commune des deux membres de l'égalité précédente est à peu près 7.

Si l'on revient alors aux équations (29), on voit que $\frac{c_1}{c_2}$ doit être pris égal à -7 environ; $F(\xi)$ diffère donc peu de la fonction

$$c_2(Y - 7I).$$

Quant au déplacement ε, dans ce mouvement périodique simple, il est égal à la dérivée de φ par rapport à r; par suite, pour z voisin de z_0, si l'on désigne par ε_0 la valeur correspondant à l'équilibre,

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{a\sqrt{2}c_2}{k_1}(Y' - 7I')\cos k_1 t; \tag{41}$$

$k_1 = \frac{2\pi}{T_1}$, T_1 étant la période la plus longue, qu'il est maintenant facile de calculer, puisque l'on connaît la valeur de ξ_0 correspondante,

$$\frac{2\pi}{T_1} = k_1 = \frac{a\xi_0}{r_0\sqrt{2}}. \tag{42}$$

On déduit de cette relation

$$T_1 = \frac{2\pi\sqrt{2}r_0}{a\xi_0} = \frac{2\pi r_0\sqrt{2}}{0,52\,a}. \tag{43}$$

Si l'on prend

$$2r_0 = 0^m,10,$$

$$a = 4950^m \quad \text{(valeur trouvée pour l'acier)},$$

il en résulte

$$T_1 = 0'',0001726. \tag{44}$$

Nous verrons plus loin comment peut être déterminée la constante c_2, encore arbitraire.

Comme il y a un seul minimum de la fonction H, dans l'intervalle

$$\frac{2\sqrt{2}}{9} < \xi_0 < \frac{2\sqrt{2}}{3}, \tag{45}$$

la période (44) est la seule qui réponde à une valeur de ξ_0, comprise dans cet intervalle.

Pour trouver une seconde racine de l'équation

$$H(3\xi_0) = H(\xi_0),$$

et par suite une seconde période, il faut examiner une nouvelle hypothèse et donner à ξ_0 une valeur telle que l'on ait

$$3\xi_0 > \text{la première racine de l'équation } 2I' + 3\xi I = 0,$$

racine qui est voisine de 2. Par suite, on doit avoir

$$3\xi_0 > 2.$$

Mais $H(\xi)$ avait été positive, pour toutes les valeurs de ξ inférieures à cette racine de la fonction

$$2I'(\xi) + 3\xi I(\xi).$$

Quand $H(\xi)$ devient alors infinie, elle passe du signe $+$ au signe $-$, pendant que la variable croît; elle reste finie quand ξ atteint la première racine de la fonction $I(\xi)$, qui est voisine de $2,4$. On a vu, en effet, que $H'(\xi)$ reste finie, pour cette valeur de la variable; il est facile aussi de s'en assurer, à l'aide de l'équation (35), d'après laquelle

$$Y = \frac{2}{\xi I'(\xi)},$$

quand

$$I(\xi) = 0.$$

Ainsi, je dois avoir

$$3\xi_0 > 2;$$

de plus ξ_1 ne doit pas atteindre la seconde racine de l'équation

$$2 I'(\xi) + 3\xi I(\xi) = 0.$$

Cette racine est proche de $5,4$, d'après les tables déjà citées; en conséquence

$$\xi_0 > \tfrac{2}{3}, \qquad \xi_0 < 1,8. \tag{46}$$

Cherchons dans cet intervalle une valeur de ξ_0 qui satisfasse à la condition

$$H(\xi_0) = H(\xi_1).$$

En calculant quelques valeurs de la fonction H, je trouve que la racine cherchée est voisine de

$$\xi_0 = 1,2,$$

et un peu plus grande, la valeur commune des deux membres de l'équation précédente étant alors environ $4,40$.

Ainsi, en désignant par T_2 la période la plus voisine de T_1, on a à peu près l'égalité suivante, pour la déterminer,

$$T_2 = \frac{2\pi r_0 \sqrt{2}}{1,2\,a}, \qquad T_2 = \frac{0,52}{1,2} T_1,$$

c'est-à-dire

$$T_2 = 0'',000074\,79. \tag{47}$$

La valeur correspondante de $\frac{c_1}{c_2}$ est alors proche de

$$-4,40,$$

de sorte que, pour ce deuxième mouvement périodique, $F(\xi)$ est sensiblement proportionnelle à

$$Y\left(1,2\frac{r}{r_0}\right) - 4,4\,I\left(1,2\frac{r}{r_0}\right),$$

et le déplacement ε correspondant est, pour les points appartenant à l'une des extrémités du tube, proportionnel à l'expression

$$(48) \qquad (Y' - 4,4\,I')\cos k_2 t.$$

En définitive, à la deuxième approximation, le mouvement en l'une des extrémités du tube peut être représenté par la formule

$$(49) \quad \begin{cases} \varepsilon = \varepsilon_0 + C_1\left[Y'\left(0,52\frac{r}{r}\right) - 7\,I'\left(0,52\frac{r}{r_0}\right)\right]\cos\frac{2\pi t}{T_1} \\ \qquad + C_2\left[Y'\left(1,2\frac{r}{r_0}\right) - 4,4\,I'\left(1,2\frac{r}{r_0}\right)\right]\cos\frac{2\pi t}{T_2}, \end{cases}$$

C_1, C_2 désignant des constantes encore inconnues.

Je cherche un troisième mouvement périodique simple. Il faut d'abord que ξ_1 ou $3\xi_0$ atteigne une nouvelle racine de la fonction

$$2\,I'(\xi) - 3\xi\,I(\xi);$$

elle est un peu inférieure à $8,6$; c'est-à-dire qu'il faut supposer

$$3\xi_0 > 8,6, \qquad \text{ou bien} \qquad \xi_0 > 2,87.$$

Lorsque la variable ξ prend de très grandes valeurs, la valeur asymptotique de la fonction $H(\xi)$ est donnée par l'expression simple

$$\pi\,\text{tang}\left(\xi - \frac{\pi}{4}\right);$$

l'équation

$$H(\xi_0) - H(3\xi_0)$$

diffère donc alors assez peu de celle-ci

$$\text{tang}\left(\xi_0 - \frac{\pi}{4}\right) = \text{tang}\left(3\xi_0 - \frac{\pi}{4}\right),$$

dont la première racine supérieure à $2,87$ se présente pour

$$\xi_0 = \pi.$$

En substituant des valeurs voisines de π dans l'équation exacte

$$H(\xi_0) = H(3\xi_0),$$

je trouve que la racine est voisine de

$$\xi_0 = 3,22,$$

la valeur commune des deux membres de l'équation précédente étant alors, à peu près,

$$-1,6.$$

Ceci conduit à une troisième période T_3, qui est donnée par l'égalité

$$T_3 = \frac{0,52}{3,22} T_1,$$

ou bien

$$T_3 = 0'',00002787.$$

La formule (49) doit donc être complétée par un terme, dont voici l'expression

$$(50) \qquad C_3 \left[Y'\left(\frac{3,22r}{r_0}\right) + 1,6\, I'\left(\frac{3,22r}{r_0}\right)\right] \cos\frac{2\pi t}{T_3}.$$

Je m'en tiendrai à ces trois termes.

Il y a maintenant des conditions à remplir, par lesquelles les constantes C_1, C_2, C_3 sont déterminées. Puisque l'un des états de la masse métallique a été le repos, il faut en effet que l'on ait $\varepsilon = 0$, par exemple pour $t = 0$. On connaît d'ailleurs l'expression de ε_0, qui est, comme l'on sait, de la forme

$$\varepsilon_0 = Ar + \frac{B}{r},$$

A et B étant des constantes connues et l'on a (d'après la condition que $\varepsilon = 0$ pour $t = 0$) le développement de ε_0 en série procédant suivant les fonctions I' et Y' de certains multiples de l'argument r. Voici ce développement

$$(51) \quad \left\{ \begin{aligned} Ar + \frac{B}{r} = &- C_1 \left[Y'\left(\frac{0,52r}{r_0}\right) - 7\, I'\left(\frac{0,52r}{r_0}\right)\right] \\ &- C_2 \left[Y'\left(\frac{1,2r}{r_0}\right) - 4,4\, I'\left(\frac{1,2r}{r_0}\right)\right] \\ &- C_3 \left[Y'\left(\frac{3,22r}{r_0}\right) + 1,6\, I'\left(\frac{3,22r}{r_0}\right)\right] - \dots \end{aligned} \right.$$

Mais les développements en série de I′, Y′ suivant les puissances de

$$\frac{r_1 - r}{r_1 - r_0}$$

s'obtiennent aisément.

Soit en effet

$$r_1 - r = \alpha(r_1 - r_0),$$

c'est-à-dire

$$r = r_1 - \alpha(r_1 - r_0).$$

On aura

$$\mathrm{I}'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}\,r}{a\mathrm{T}_n}\right) = \mathrm{I}'\left[\frac{2\pi\sqrt{2}}{a\mathrm{T}_n}r_1 + \frac{2\pi\sqrt{2}(r_0 - r_1)}{a\mathrm{T}_n}\alpha\right]$$
$$= \mathrm{I}'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}\,r_1}{a\mathrm{T}_n}\right) + \frac{2\pi\sqrt{2}}{a\mathrm{T}_n}(r_0 - r_1)\alpha\,\mathrm{I}''\left(\frac{2\pi\sqrt{2}\,r_1}{a\mathrm{T}_n}\right)$$
$$+ \left[\frac{2\pi\sqrt{2}(r_1 - r_0)}{a\mathrm{T}_n}\right]^2 \frac{\alpha^2}{2}\,\mathrm{I}'''\left(\frac{2\pi\sqrt{2}\,r_1}{a\mathrm{T}_n}\right) + \ldots.$$

Soit d'abord $n = 1$; on a vu que

$$\frac{2\pi\sqrt{2}}{a\mathrm{T}_1} = \frac{\xi_0}{r_0} = 10{,}4;$$

par suite

$$\frac{2\pi\sqrt{2}\,r_1}{a\mathrm{T}_1} = \frac{\xi_0 r_1}{r_0} = 1{,}56, \qquad \frac{2\pi\sqrt{2}(r_0 - r_1)}{a\mathrm{T}_1} = -1{,}04.$$

Ainsi donc

$$\mathrm{I}'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}\,r}{a\mathrm{T}_1}\right) = \mathrm{I}'(1{,}56) - 1{,}04\,\alpha\,\mathrm{I}''(1{,}56) + \frac{(1{,}04)^2\alpha^2}{2}\mathrm{I}'''(1{,}56) - \ldots.$$

Or

$$\mathrm{I}'(1{,}56) = -0{,}56560,$$

d'après la table donnée par Bessel; de plus

$$\mathrm{I}''(1{,}56) = -\frac{\mathrm{I}'(1{,}56)}{1{,}56} - \mathrm{I}(1{,}56) = -0{,}11554,$$

d'après l'équation différentielle qui définit Y et I. De même

$$\mathrm{I}'''(1{,}56) = -\frac{\mathrm{I}''(1{,}56)}{1{,}56} + \left(\frac{1}{1{,}56^2} - 1\right)\mathrm{I}'(1{,}56) = +0{,}40725,$$

en sorte que

$$I'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{aT_1}r\right) = -0,56560 + 0,12016\alpha + 0,22024\alpha^2 - \ldots.$$

Au reste, puisque

$$Y'(\xi) = \frac{2}{\xi I(\xi)} + 2I'(\xi)L\left(\frac{\xi}{2}\right) - \frac{2I'(\xi)Z(\xi)}{I(\xi)},$$

$Y'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{aT_1}r\right)$ se déduit de $I'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{aT_1}r\right)$.

Ainsi donc

$$Y'(1,56) = \frac{2}{1,56\,I(1,56)} + 2I'(1,56)L(0,78) - \frac{2I'(1,56)Z(1,56)}{I(1,56)},$$

et, comme

$$Z(1,56) = -0,74953,$$

il en résulte

$$Y'(1,56) = 1,18920.$$

Mais

$$Y''(1,56) = -\frac{Y'(1,56)}{1,56} - Y(1,56),$$

$$Y(1,56) = 2I(1,56)L(0,78) - 2Z(1,56),$$

d'où

$$Y(1,56) = 1,26144,$$

$$Y''(1,56) = -2,02374.$$

Par des formules semblables à celles dont on a fait usage pour calculer les dérivées de la fonction I, on trouve

$$Y'''(1,56) = 0,59675.$$

En conséquence

$$Y'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{aT_1}r\right) = 1,18920 + 2,1047\alpha + 0,32272\alpha^2 + \ldots.$$

Il s'agit d'effectuer un calcul analogue pour chacune des périodes T_2, T_3. On a d'abord

$$I'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{aT_2}r\right) = I'(3,6 - 2,4\alpha);$$

de plus

$$I'(3,6) = -0,09547; \quad I''(3,6) = -0,36525; \quad I'''(3,6) = 0,09071;$$

ce qui entraîne la relation

$$I'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{a\,T_2}r\right) = -0,09547 + 0,8766\,\alpha + 0,26125\,\alpha^2 + \ldots;$$

de même

$$Y'(3,6) = 1,08390, \qquad Y''(3,6) = -1,67235, \qquad Y'''(3,6) = 0,58659$$

et, par suite,

$$Y'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{a\,T_2}r\right) = 1,08390 + 4,01360\,\alpha + 1,6893\,\alpha^2 + \ldots.$$

Enfin

$$I'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{a\,T_3}r\right) = I'(9,66 - 6,44\,\alpha)$$

et

$$I'(9,66) = -0,13838, \qquad I''(9,66) = -0,23127, \qquad I'''(9,66) = 0,11296;$$
$$Y'(9,66) = -0,6853_7, \qquad Y''(9,66) = -0,35170, \qquad Y'''(9,66) = 0,71443.$$

Il s'ensuit

$$I'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{a\,T_3}r\right) = -0,13838 - 1,4894\,\alpha + 2,3425\,\alpha^2 + \ldots,$$
$$Y'\left(\frac{2\pi\sqrt{2}}{a\,T_3}r\right) = -0,68537 + 2,2650\,\alpha + 14,815\,\alpha^2 - \ldots.$$

J'ajoute que l'on a

$$(52)\quad \begin{cases} \varepsilon_0 = A\,r + \dfrac{B}{r} \\ \quad = \left(A\,r_1 + \dfrac{B}{r_1}\right) + \alpha(r_0 - r_1)\left(A - \dfrac{B}{r_1^2}\right) - \alpha^2\,\dfrac{B(r_1 - r_0)^2}{r_1^3} + \ldots. \end{cases}$$

En résumant alors les résultats qui viennent d'être obtenus et tenant compte de la formule (51), je trouve, pour déterminer

$$C_1,\ C_2,\ C_3,$$

les relations suivantes

$$(53)\quad \begin{cases} 5,14184\,C_1 + 1,504\,C_2 - 0,9068\,C_3 = -\left(A\,r_1 + \dfrac{B}{r_1}\right), \\ 1,2636\,C_1 + 0,1566\,C_2 - 0,1180\,C_3 = (r_1 - r_0)\left(A - \dfrac{B}{r_1^2}\right), \\ 1,2190\,C_1 - 0,5398\,C_2 + 18,563\,C_3 = \dfrac{B(r_1 - r_0)^2}{r_1^3}. \end{cases}$$

On en déduit immédiatement

$$(54)\quad \begin{cases} -20{,}0653\,C_1 = -2{,}8433\left(Ar_1 + \dfrac{B}{r_1}\right) \\ \qquad\qquad -27{,}4295(r_1 - r_0)\left(A - \dfrac{B}{r_1^2}\right) - 0{,}0355\,\dfrac{B(r_1 - r_0)^2}{r_1^4}, \\ -20{,}0653\,C_2 = -23{,}6008\left(Ar_1 + \dfrac{B}{r_1}\right) \\ \qquad\qquad -96{,}6754(r_1 - r_0)\left(A - \dfrac{B}{r_1^2}\right) - 0{,}5383\,\dfrac{B(r_1 - r_0)^2}{r_1^4}, \\ -20{,}0653\,C_3 = -0{,}8730\left(Ar_1 + \dfrac{B}{r_1}\right) \\ \qquad\qquad +4{,}6125(r_1 - r_0)\left(A - \dfrac{B}{r_1^2}\right) - 1{,}0943\,\dfrac{B(r_1 - r_0)^2}{r_1^4}. \end{cases}$$

Il reste à calculer, pour des valeurs données des pressions à l'intérieur et à l'extérieur du tube, les valeurs de A et de B.

Afin de fixer les idées, nous supposerons que la pression intérieure P_0 est de 2000^{kg} par centimètre carré, la pression extérieure P_1 nulle; enfin, la traction F, appliquée aux extrémités, égale à l'effet d'une pression uniforme de 2000^{kg} par centimètre carré sur un cercle de diamètre égal à $0^m,10$ et répartie sur l'aire de la tranche extrême. Les formules qui donnent A et B sont alors les suivantes

$$2(\lambda + \mu)A + \lambda C - \frac{2\mu B}{r_0^2} = -P_0,$$

$$2(\lambda + \mu)A + \lambda C - \frac{2\mu B}{r_1^2} = -P_1,$$

$$2\lambda A + (\lambda + 2\mu)C = F,$$

que l'on trouvera notamment dans le cours de mécanique professé à l'École polytechnique par M. Sarrau;

C

est un coefficient tel que, pour l'équilibre du tube, le déplacement dans la direction de l'axe du cylindre soit donné par l'égalité

$$w = Cz.$$

Sachant d'ailleurs que, d'après les données précédemment admises,

$$\log P_0 = 7,30103, \qquad \log F = 6,39794, \qquad \lambda = 2\mu = \tfrac{1}{2}a^2\rho.$$

Poids spécifique de l'acier $= 7833$,

$$\log(\lambda + 2\mu) = 10,29151;$$

on conclut de là les valeurs suivantes de A et B,

$$(55) \qquad \begin{cases} A = \dfrac{P_0}{8(\lambda + 2\mu)} - \dfrac{F}{2(\lambda + 2\mu)} = \dfrac{1}{10^5}\,6,388, \\ B = \dfrac{9r_0^2 P_0}{4(\lambda + 2\mu)} = 5,75\,\dfrac{1}{10^6}, \end{cases}$$

desquelles on déduit

$$A r_1 + \frac{B}{r_1} = \frac{4,7913}{10^5},$$

$$(r_1 - r_0)\left(A - \frac{B}{r_1^2}\right) = -\frac{1,9166}{10^5},$$

$$\frac{B(r_1 - r_0)^2}{r_1^3} = \frac{1,7037}{10^5},$$

et, par conséquent,

$$(56) \qquad C_1 = \frac{-1}{10^5}\,1,9381, \qquad C_2 = \frac{1}{10^5}\,3,6443, \qquad C_3 = \frac{1}{10^5}\,0,3250.$$

Ceci achève de déterminer ε.

Pour être rigoureux, il faudrait introduire, outre les termes qui dépendent des cos tels que

$$\cos\frac{2\pi t}{T_n},$$

dans l'expression de ε, des termes qui renfermeraient des sin tels que

$$\sin\frac{2\pi t}{T_n};$$

mais, pour $t = 0$, les vitesses de tous les points doivent être nulles, ce qui conduit à annuler tous les coefficients des sinus.

Ainsi, en résumé, le mouvement radial de l'une des extrémités

du tube est approximativement représenté par la formule

$$(57)\quad \left\{\begin{aligned}\varepsilon = Ar + \frac{B}{r} &+ C_1\left[Y'\left(\frac{0,52r}{r_0}\right) - 7\ I'\left(\frac{0,52r}{r_0}\right)\right]\cos\frac{2\pi t}{T_1}\\ &+ C_2\left[Y'\left(\frac{1,2r}{r_0}\right) - 4,4\,I'\left(\frac{1,2r}{r_0}\right)\right]\cos\frac{2\pi t}{T_2}\\ &+ C_3\left[Y'\left(\frac{3,22r}{r_0}\right) + 1,61\,I'\left(\frac{3,22r}{r_0}\right)\right]\cos\frac{2\pi t}{T_3},\end{aligned}\right.$$

A, B, C_1, C_2, C_3, T_1, T_2, T_3 ayant les valeurs indiquées plus haut. Si l'on examine d'abord les coefficients des cos, lorsque r prend la valeur r_1, c'est-à-dire pour les points appartenant à la surface extérieure du tube, on voit que

$$(58)\quad \left\{\begin{aligned}C_1\left[Y'\left(\frac{0,52r_1}{r_0}\right) - 7\ I'\left(\frac{0,52r_1}{r_0}\right)\right] &= -\frac{1}{10^5}9,978,\\ C_2\left[Y'\left(\frac{1,2r_1}{r_0}\right) - 4,4\,I'\left(\frac{1,2r_1}{r_0}\right)\right] &= \frac{1}{10^5}5,481,\\ C_3\left[Y'\left(\frac{3,22r_1}{r_0}\right) + 1,61\,I'\left(\frac{3,22r_1}{r_0}\right)\right] &= \frac{1}{10^5}0,2917.\end{aligned}\right.$$

D'après ces valeurs, ε atteint une première valeur maximum, quand

$$(59)\qquad t = \frac{1,65}{3,6}T_1 = 0^{s},00007910^{8},$$

c'est-à-dire après un laps de temps un peu moindre que $\frac{T_1}{2}$. Cette valeur est égale à

$$(60)\qquad 4,1135\varepsilon_0;$$

elle atteindrait donc, pour le tube que nous avons étudié, environ

$$(61)\qquad 0^{mm},197,$$

en chaque point de la circonférence formant l'intersection du cylindre extérieur ($r = r_1$) avec l'une des faces extrêmes ($z = z_0$, par exemple).

Il est plus intéressant de rechercher ce qui a lieu au contraire

à l'intersection du cylindre intérieur ($r = r_0$), avec cette même face. On trouve d'abord, pour déterminer ε en tous les points de cette ligne, la formule

$$(62)\quad \left\{\begin{aligned}\varepsilon = A r_0 + \frac{B}{r_0} &+ C_1[Y'(0,52) - 7\ I'(0,52)]\cos\frac{2\pi t}{T_1}\\ &+ C_2[Y'(1,2) - 4,4 I'(1,2)]\cos\frac{2\pi t}{T_2}\\ &+ C_3[Y'(3,22) + 1,6 I'(3,22)]\cos\frac{2\pi t}{T_3} + \dots.\end{aligned}\right.$$

dans laquelle on doit prendre

$$(63)\quad A r_0 + \frac{B}{r_0} = \frac{1}{10^5}\,11,8194,$$

$$(64)\quad C_1[Y'(0,52) - 7\ I'(0,52)] = -\frac{1}{10^5}\,13,7060,$$

$$(65)\quad C_2[Y'(1,2) - 4,4 I'(1,2)] = \frac{1}{10^5}\,19,0320,$$

$$(66)\quad C_3[Y'(3,22) + 1,6 I'(3,22)] = \frac{1}{10^5}\,0,0632.$$

ε atteint un premier maximum pour une valeur de t, voisine de

$$(67)\quad 0,45\,T_1 = 0^s,00007767,$$

et cette valeur est à peu près

$$(68)\quad 0^{mm},433.$$

J'ajoute que les valeurs de ε, toutes choses égales d'ailleurs, sont visiblement proportionnelles aux valeurs de P_0. Ainsi, pour une pression P_0 égale à 1500^{kg}, la valeur précédente serait réduite à

$$(69)\quad 0^{mm},325;$$

ε_0 serait alors réduit dans les mêmes proportions.

Dans le cas actuel, c'est-à-dire pour les points de la circonférence intérieure extrême, le rapport $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ serait donné par l'égalité suivante

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = 3,6678.$$

Tableau de quelques valeurs de la fonction $Z(\xi)$.

ξ.	$Z(\xi)$.	ξ.	$Z(\xi)$.
0,00	—0,57721	2,0	—0,80162
0,4	—0,59375	2,31	—0,80114
0,5	—0,60274	2,4	—0,80100
0,52	—0,60475	2,87	—0,73022
0,6	—0,61341	2,88	—0,72776
0,77	—0,63492	2,90	—0,72281
0,8	—0,63909	3,0	—0,71744
$\frac{2\sqrt{2}}{3}$	—0,66015	3,2	—0,63002
		3,22	—0,62268
1,0	—0,66902	3,25	—0,60985
1,1	—0,68494	3,4	—0,54957
1,2	—0,70112	3,6	—0,45535
$\frac{4}{3}$	—0,72250	4	—0,23277
		4,08	—0,18400
1,36	—0,72671	4,10	—0,17124
$\frac{4,1}{3}$	—0,72771	4,20	—0,09830
		4,23	—0,08959
1,5	—0,74797	4,30	—0,04455
1,56	—0,74953	4,50	—0,08624
1,8	—0,78573	5,0	+0,41537

Paris, le 11 février 1893.

NOTE

SUR UN

PROCÉDÉ DE DÉSHYDRATATION DU COTON-POUDRE;

PAR

M. MESSIER,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

La présente note a pour objet la description d'un procédé permettant de supprimer le séchage du coton-poudre dans la fabrication de produits industriels obtenus en traitant cette matière par un dissolvant qui contient une certaine proportion d'alcool. La manipulation du coton-poudre sec exige, en effet, des précautions spéciales; en outre, les parcelles ténues qui se détachent de la matière sèche constituent des poussières dangereuses. En opérant par le procédé ci-dessous décrit, on n'aurait plus à manipuler que des matières imprégnées d'une quantité suffisante de liquide pour que ces inconvénients fussent écartés.

Remarque préliminaire. — Le coton-poudre séché contient toujours au moment où on le traite par le dissolvant une certaine quantité d'humidité. Soit t le taux d'humidité admis, appelons p le poids d'eau que renferme le poids $(P+p)$ de coton-poudre au taux d'humidité t, q le poids d'alcool à 95° contenu dans le poids π de dissolvant qui sert à traiter le poids considéré de coton-poudre (si l'alcool entrant dans la composition du dissolvant est à un degré inférieur à 95°, q représentera une fraction de la quantité totale d'alcool, laquelle peut être considérée comme formée du poids q d'alcool à 95° et d'un certain poids d'eau). Posons $r=\pi-q$; r représentera le poids total des éléments, autres que l'alcool à 95°,

entrant dans le poids π de dissolvant, et que nous appellerons le *complément du dissolvant*.

Le mélange du poids $(P+p)$ de coton-poudre au taux d'humidité t et du poids π de dissolvant peut être considéré comme composé des éléments suivants :

A. Le poids P de coton-poudre sec.
» p d'eau.
» q d'alcool 95°.
» r du complément du dissolvant.

Appelons n le degré de l'alcool qu'on obtiendrait en mélangeant directement un poids q d'alcool à 95° avec un poids p d'eau.

Il résulte évidemment de la définition de n que le mélange A qu'on obtient en traitant par le dissolvant le coton-poudre au taux d'humidité t est rigoureusement identique au mélange B qu'on obtiendrait en mélangeant directement les éléments suivants

B. Le poids P de coton-poudre sec.
» $(p+q)$ d'alcool au degré n.
» r du complément du dissolvant.

C'est sur cette remarque qu'est fondé le procédé proposé.

Description du procédé. — Considérons maintenant du coton-poudre n'ayant pas subi de séchage préalable et à un taux d'humidité absolument quelconque. Soit $(P+h)$ un certain poids de ce coton-poudre, contenant un poids h d'eau; soit Q un poids d'alcool à 95° tel que, mélangé au poids h d'eau, il donne un poids $(Q+h)$ d'alcool au degré n, n étant défini comme ci-dessus, Q sera donné par l'équation

$$\frac{Q}{Q+h}=\frac{q}{p+q},$$

d'où

$$(\alpha)\qquad Q=\frac{hq}{p}\quad(^1).$$

Première opération. — On agite le poids $(P+h)$ de coton-poudre humide avec le poids Q d'alcool à 95°. L'alcool absorbe

(1) On peut mettre cette équation sous une autre forme :
Si T et T_1 sont les poids d'alcool pur contenus respectivement dans 1^{kg} d'alcool

l'eau, son degré s'abaisse de 95° à n et l'on obtient, à la condition de prolonger suffisamment l'opération, un mélange identique à celui qu'on eût formé en mélangeant directement un poids P de coton-poudre sec avec un poids $(Q + h)$ d'alcool au degré n.

Deuxième opération. — On élimine alors par un procédé mécanique une quantité d'alcool au degré n égale à

$$Q + h - (p + q).$$

(L'alcool ainsi éliminé sera distillé par un procédé convenable et employé de nouveau.)

Il reste un mélange identique à celui qu'on eût obtenu en mélangeant directement un poids P de coton-poudre sec avec un poids $(p + q)$ d'alcool au degré n.

Troisième opération. — Si l'on ajoute alors le complément du dissolvant, on obtient un mélange contenant les éléments suivants

Le poids P de coton-poudre sec.
» $(p + q)$ d'alcool au degré n.
» r du complément du dissolvant.

Or ce mélange a la même composition que celui que nous avons désigné par B. Ce dernier étant identique au mélange A, le mélange auquel on arriverait finalement en suivant le procédé proposé serait donc rigoureusement identique à celui qu'on obtient lorsque, après avoir préalablement séché le coton-poudre pour le ramener au taux d'humidité t, on en traite un poids $(P + p)$ par le poids π du dissolvant. On obtiendrait donc les mêmes produits.

Remarque. — Dans l'équation (α), qui donne la quantité Q d'alcool à employer, p et q sont, ainsi qu'il a été indiqué dans la remarque préliminaire, des quantités connues, puisque q se déduit

---

à 95° et dans 1^{kg} d'alcool au degré n, Q devra satisfaire à l'équation

$$\frac{Q}{Q + h} = \frac{T_1}{T},$$

d'où

$$Q = \frac{h\,T_1}{T - T_1}.$$

On voit sous cette forme que la valeur de Q est d'autant plus grande que T_1 est plus voisin de T, c'est-à-dire que n est plus voisin de 95.

de la composition du dissolvant et que p est la quantité d'eau admise, au moment de l'emploi, dans un poids de coton-poudre égal à $(P + p)$. Mais la valeur de h et par suite celle de Q changeront presque à chaque opération, car l'humidité du coton-poudre n'ayant subi aucun séchage sera très variable. Il sera difficile d'ailleurs de prendre un échantillon moyen, permettant de connaître avec une approximation suffisante l'humidité moyenne de la charge et, les matières étant très humides, il pourra résulter de la difficulté de former exactement l'échantillon moyen une erreur assez considérable sur la valeur de la quantité d'eau h contenue dans le poids $(P + h)$ de coton. Donc h et par suite P seront mal définis. Par suite Q et r ne seront pas déterminés exactement.

Cette difficulté pourrait être résolue comme il suit : Si θ est le taux d'humidité minimum que puisse contenir le coton-poudre à déshydrater, on traiterait chaque charge par une quantité Q′, constante, d'alcool à 95°, quantité calculée une fois pour toutes en donnant à h dans l'équation (α) la valeur h' minima correspondant au taux minimum d'humidité θ. Au bout d'un temps suffisant pour que toute l'humidité du coton ait été absorbée par l'alcool, on prendra le degré de l'alcool. Ce degré connu, il serait facile de calculer la quantité d'eau h qui aura été absorbée par le poids Q′ d'alcool à 95° et par suite, connaissant $P + h$ et h, de déduire la valeur de P. On calculerait alors Q et r. Mais ces opérations auront été faites une fois pour toutes et un tableau donnera, pour la valeur constante de $P + h$, et en regard de la valeur du degré de l'alcool de lavage, le poids P et la quantité $(Q - Q')$ d'alcool à ajouter pour amener le liquide au degré n. L'opération réduite ainsi à une lecture de l'aréomètre pourrait être confiée à un ouvrier comme une quelconque des épreuves courantes. La valeur de r et celle de $(p + q)$, quantité de liquide à laisser dans le mélange, seraient également fournies par le même tableau, à la suite de la valeur de P.

En résumé, on donnerait à chaque charge de coton-poudre humide un poids constant, mais on remplacerait la détermination du taux moyen d'humidité de la charge par une opération évidemment plus courte et moins délicate consistant dans la détermination du degré de l'alcool de lavage.

On peut se demander aussi comment on devrait opérer pour que la quantité d'alcool au degré n restant dans la charge fût exactement égale à $p + q$.

On pourrait conduire l'opération comme il suit : On emploierait, pour l'élimination de l'excès d'alcool, une action mécanique suffisamment énergique pour qu'on fût certain de dépasser la quantité théorique à extraire $Q + h - (p + q)$. La quantité d'alcool au degré n restant dans le mélange serait alors inférieure à $p + q$. On pèserait la charge et l'on y reverserait une portion de l'alcool éliminé suffisante pour ramener le poids total de la charge à la valeur $P + p + q$; on se trouverait ainsi absolument dans les mêmes conditions que si l'on eût arrêté l'élimination mécanique de l'excès de liquide exactement au point voulu.

On pourrait aussi déterminer par une épreuve sur un échantillon (1) le taux d'alcool au degré n restant dans la charge et l'on en déduirait la correction à effectuer ; mais il serait nécessaire, pour qu'on pût opérer ainsi, qu'il fût possible de former un échantillon dont le taux d'alcool représentât avec une approximation suffisante le taux d'alcool moyen.

Enfin, si l'on admet que le dosage en alcool puisse varier entre certaines limites, il sera peut-être possible de régler l'opération mécanique de manière à obtenir le résultat cherché sans avoir à effectuer aucune correction.

Il y a lieu de remarquer qu'il serait nécessaire, comme il sera expliqué plus loin, d'adopter une de ces deux dernières solutions si, pour réduire les frais de lavage, on opérait dans l'appareil laveur sur un poids de coton-poudre supérieur à celui d'une charge de l'appareil où se ferait le traitement par le dissolvant.

Si le rapport $\frac{h}{p}$ a une valeur assez grande, la valeur de Q tirée

(1) On délayerait un échantillon de poids constant dans un volume constant d'alcool à un degré déterminé, 90° par exemple. On mesurerait le degré résultant n'. Une table, spéciale pour le degré n adopté, donnerait, en regard de la valeur de n', le taux cherché.

Si l'on ignorait non seulement le taux d'alcool que renferme le coton, mais encore le degré de cet alcool, on délayerait deux échantillons de même poids dans deux volumes différents, donnés, d'alcool à 90°. On mesurerait les degrés résultants, et, en regard des valeurs trouvées n' et n'', une table à deux entrées indiquerait le taux et le degré cherchés.

de l'équation (α) pourra être trop élevée pour être admise dans la pratique. S'il en est ainsi, supposons qu'on ne veuille employer qu'une quantité donnée d'alcool à 95° inférieure à Q, et désignons cette quantité par Q_1. Après avoir absorbé la quantité d'eau h, la quantité d'alcool sera devenue $Q_1 + h$ et son degré, n_1, sera inférieur à n. On éliminera alors mécaniquement du mélange une quantité d'alcool au degré n_1 égale à

$$Q_1 + h - u,$$

en donnant à u (quantité de liquide qui reste dans le mélange) une valeur inférieure à $p + q$ et choisie de telle manière qu'en y ajoutant ensuite un poids $p + q - u$ d'alcool à 95°, on obtienne la quantité $p + q$ d'alcool au degré n. On sera alors ramené au cas précédent (1).

Mais il peut arriver que l'on soit obligé, pour opérer ainsi, de donner à u une valeur assez faible pour que l'extraction mécanique de tout l'alcool qui excède la quantité u exige une compression énergique ayant pour conséquence la formation de grumeaux dans le coton-poudre. Nous devons donc, pour nous placer dans le cas le plus défavorable, supposer en même temps :

1° Que le rapport des valeurs de h et de p soit assez grand pour que la valeur de Q soit trop considérable pour être admise dans la pratique;

2° Qu'il y ait inconvénient à pousser l'extraction mécanique de

---

(1) La consommation d'alcool à 95° serait donc en réalité, non point Q_1, mais bien $Q_1 + p + q - u$; mais, comme cette quantité diffère peu de la quantité Q_1, nous les avons confondues pour simplifier la description. Pour ne dépenser exactement que la quantité Q_1 d'alcool à 95°, on devrait n'en employer pour le lavage qu'une quantité y telle que

$$y + p + q - u = Q_1.$$

D'autre part, après l'élimination mécanique de l'excès de liquide, la quantité d'eau mélangée à l'alcool à 95° et, par suite, la quantité totale de liquide doivent se trouver réduites dans le rapport $\frac{p}{h}$; donc

$$\frac{u}{y + h} = \frac{p}{h}.$$

De ces deux équations on tire, en éliminant u,

$$y = \frac{(Q_1 - q)h}{h - p}.$$

l'alcool à un point tel que le coton ne soit plus imprégné que d'une quantité de liquide égale à u (u étant défini comme il vient d'être indiqué).

Double lavage. — S'il en est ainsi, on soumettra le coton à plusieurs lavages successifs par l'alcool. Si l'on fait deux lavages, le premier sera effectué à l'aide de l'alcool au degré n provenant du deuxième lavage d'une charge précédente. On éliminera la plus grande partie du liquide, puis on procédera à un second lavage à l'aide d'une quantité d'alcool à 95° telle qu'à la fin de l'opération le degré de cet alcool soit précisément égal à n.

Le poids x d'alcool à 95° qui sera consommé dans ce cas pour le traitement d'un poids $(P + h)$ de coton-poudre humide sera donné par l'équation

$$(\beta) \qquad x^2 + [h + K - (p + q)]x - \frac{h}{p} q K = 0 \ (^1),$$

(¹) L'équation (β) s'établit comme il suit :

Si T_2 est le titre de l'alcool à la fin du premier lavage, la quantité d'alcool pur restant dans le mélange après ce lavage sera égale à KT_2. Pour effectuer le deuxième lavage on ajoute un poids x d'alcool à 95°, contenant le poids Tx d'alcool pur. La quantité totale de liquide devient $x + K$ et le degré final à la fin du deuxième lavage étant par hypothèse égal à n, nous avons, T_1 étant le titre de l'alcool au degré n, l'égalité

$$(a) \qquad T_1 = \frac{KT_2 + T_x}{x + K}.$$

A la fin du deuxième lavage, on élimine l'excès d'alcool au degré n, de manière à n'en laisser dans le mélange que le poids $p + q$. Le poids de l'alcool éliminé est donc égal à

$$x + K - (p + q).$$

C'est cette quantité d'alcool au degré n qui sert pour le premier lavage de la charge suivante qui contient une quantité d'eau égale à h; le poids total du liquide devient

$$x + K - (p + q) + h,$$

et le degré de l'alcool s'abaisse de T_1 à T_2; donc

$$(b) \qquad \frac{T_2}{T_1} = \frac{x + K - (p + q)}{x + K - (p + q) + h}.$$

On a d'ailleurs par hypothèse

$$(c) \qquad \frac{T_1}{T} = \frac{q}{p + q}.$$

En éliminant $\frac{T_2}{T}$ et $\frac{T_1}{T}$ entre les équations (a), (b), (c), on obtient l'équation (β).

p, h et q ayant les définitions déjà données et K représentant la quantité de liquide laissée dans le mélange, à la fin du premier lavage, après l'élimination de la plus grande partie de l'alcool.

Si dans l'équation (β) on fait $K = p + q$, c'est-à-dire si l'on pousse, après le premier lavage, l'élimination de l'excès de liquide au même point qu'après le deuxième, cette équation devient

$$(\gamma) \qquad x^2 + hx - \frac{h}{p} q(p + q) = 0.$$

L'équation (β) s'applique, au contraire, au cas où l'on se contenterait, à la fin du premier lavage, d'éliminer la plus grande partie du liquide par filtration et égouttage, comme, dans la fabrication du coton-poudre, on élimine la plus grande partie de l'eau de lavage avant de porter le coton aux turbines. On peut évaluer la quantité K d'alcool qui resterait alors dans le mélange : dans les fabriques de coton-poudre, à la sortie des fosses d'égouttage, la matière contient environ 80 pour 100 d'eau. Or l'expérience montre que du coton-poudre lavé dans l'alcool à 90° retient, après égouttage, un poids d'alcool représentant environ 80 pour 100 du poids de liquide qu'il conserve lorsqu'il a été lavé dans l'eau; la proportion d'alcool serait donc après égouttage sensiblement égale à

$$0,80 \times 0,80 = 0,64.$$

Nous adopterons pour K une valeur représentant 65 pour 100 du poids total (1).

Triple lavage. — Nous examinerons enfin le cas où, pour réduire encore davantage la consommation d'alcool à 95°, on ferait trois lavages successifs, le premier avec l'alcool provenant du deuxième lavage d'une charge précédente, le deuxième avec l'alcool provenant d'un troisième lavage, et le troisième avec l'alcool à 95°.

La consommation d'alcool à 95° serait alors donnée par l'équa-

(1) La valeur de K pourrait être abaissée si l'on exerçait sur la matière, pendant l'égouttage, une légère compression en la recouvrant de plateaux portant une certaine charge. La consommation d'alcool à 95° serait ainsi diminuée sans que la dépense de main-d'œuvre fût sensiblement accrue.

tion

$$(\delta)\quad \begin{cases} x^3+\{h+2[K-(p+q)]\}x^2 \\ \quad +\{[K-(p+q)]^2+h[2K-(p+q)]\}x-\dfrac{h}{p}qK^2=0\ (^1), \end{cases}$$

K représentant la quantité de liquide laissée dans le mélange à la fin de chacun des deux premiers lavages. Il est évident en effet que, si l'on élimine l'excès d'alcool après chacun de ces lavages par filtration et égouttage, la quantité de liquide restant dans le mélange sera, en moyenne, la même dans les deux cas.

Si l'on faisait $K=p+q$, cette équation deviendrait

$$(\varepsilon)\qquad x^3+hx^2+h(p+q)x-\frac{h}{p}q(p+q)^2=0.$$

Les quantités d'alcool calculées à l'aide de ces diverses formules seraient, ainsi que le montre l'examen du tableau donné à la fin de la présente Note, trop faibles pour permettre de délayer suffisamment le coton-poudre de manière à assurer un lavage complet et rapide de la matière. Aussi, quel que soit le nombre de lavages adopté, y aura-t-il avantage à recourir à l'artifice suivant :

Pour chaque lavage, on ajoutera au poids d'alcool indiqué par la théorie une certaine quantité d'alcool au degré que doit avoir le liquide éliminé à la fin de ce lavage. Cette quantité resservira indéfiniment de sorte que l'opération du lavage sera facilitée et abrégée sans que la consommation d'alcool soit accrue.

Pour établir les formules (β) et (δ) on a supposé les opérations

---

(1) L'équation (δ) s'établit en éliminant $\frac{T_2}{T}$, $\frac{T_3}{T}$ et $\frac{T_4}{T}$ entre les quatre équations ci-dessous, dans lesquelles T_2, T_3, T_4 représentent respectivement les titres en alcool à la fin du premier, du deuxième et du troisième lavage, et T le titre de l'alcool à 95° :

$$T_4=\frac{KT_3+Tx}{x+K},$$

$$T_3=\frac{KT_2+T_4[x+K-(p+q)]}{x+2K-(p+q)},$$

$$\frac{T_4}{T_3}=\frac{x+K-(p+q)}{x+K-(p+q)+h},$$

$$\frac{T_4}{T}=\frac{q}{p+q}.$$

conduites en suivant pas à pas la théorie. Il n'en serait évidemment pas ainsi dans la pratique; aussi doit-on considérer ces formules comme donnant exactement non point la consommation d'alcool à 95° pour une opération quelconque, mais bien (et c'est ce qu'il importe de connaître) la moyenne des quantités consommées dans un grand nombre d'opérations.

On pourrait appliquer comme il suit la méthode du double lavage :

Pour effectuer le premier lavage, on traiterait dans l'appareil laveur un poids constant de coton-poudre humide, renfermant une quantité inconnue d'eau, par une quantité constante d'alcool provenant des deuxièmes lavages. Les quantités constantes de coton et d'alcool qu'on mélangerait dans l'appareil auraient été calculées, une fois pour toutes, d'après le taux d'humidité moyen du coton et le degré moyen de l'alcool provenant des deuxièmes lavages, de manière à correspondre, en moyenne, aux proportions indiquées par la théorie. On ajouterait, comme il a été expliqué ci-dessus, la quantité additionnelle constante, nécessaire pour délayer complètement le coton, d'alcool provenant des premiers lavages, et dont le degré serait par suite, en moyenne, égal à celui qu'aurait le liquide à la fin de l'opération. On effectuerait alors le lavage, puis on éliminerait, par filtration et égouttage, la plus grande partie de l'alcool dont on déterminerait le degré n'. On procéderait alors au deuxième lavage. On introduirait d'abord dans le mélange une quantité x_1, constante, d'alcool à 95°. Cette quantité aurait été calculée une fois pour toutes et serait telle que si elle était mélangée avec la quantité minima d'alcool restant dans le coton après le premier lavage et que la valeur de n' fût également la plus faible qu'on pût obtenir dans la pratique, on obtînt n pour le degré final du liquide. On ajouterait une quantité additionnelle, constante, d'alcool au degré n pour délayer complètement le coton. Après une agitation suffisamment prolongée pour que le mélange fût homogène, on mesurerait le degré n'' de l'alcool. Une table à double entrée donnerait, pour la valeur constante de x_1 qui aurait été choisie, et pour les valeurs de n' et de n'' mesurées comme il vient d'être indiqué, la quantité $x - x_1$ d'alcool à 95° à ajouter pour amener le liquide au degré voulu n [x désignant, comme dans l'équation (β), la quantité totale d'al-

cool à 95° nécessaire pour le traitement de la charge]. Après l'achèvement du lavage, on éliminerait par filtration et égouttage la plus grande partie de l'alcool au degré n, puis on soumettrait le coton à un turbinage ou à une compression pour abaisser le taux d'alcool au-dessous de la valeur $p + q$.

En résumé, lorsqu'on ferait deux lavages, on opérerait sur le coton ayant subi le premier lavage et contenant un taux indéterminé d'alcool, exactement comme on opérerait, si l'on ne faisait qu'un seul lavage, sur le coton contenant un taux indéterminé d'humidité; mais, au lieu d'une table à une entrée, on devrait se servir d'une table à deux entrées pour tenir compte du degré variable, n', de l'alcool imprégnant le coton. Si toutefois le degré n' ne variait, dans la pratique, qu'entre des limites assez rapprochées, on pourrait se servir, pour obtenir $x - x_1$, d'une table à une entrée calculée en admettant pour n' une valeur moyenne. Il ne serait plus nécessaire dans ce cas de mesurer le degré n' de l'alcool à la fin du premier lavage.

Lorsqu'on établirait les tables dont il s'agit, on devrait tenir compte des quantités additionnelles constantes d'alcool au degré n, introduites pour le dernier lavage.

Il y a lieu de distinguer le cas où l'on adopterait pour une charge de l'appareil laveur une quantité de coton-poudre pouvant être traitée en une seule fois par le dissolvant, du cas où, pour réduire les frais de main-d'œuvre, on opérerait dans l'appareil laveur sur une quantité plus considérable de coton. Dans le premier cas, on déterminerait le poids P de coton-poudre sec que contiendrait la charge $P + h$ de coton introduit dans l'appareil laveur. Il suffirait pour cela de mesurer le degré initial N du mélange d'alcools qui sert pour le premier lavage; à la fin de ce lavage on mesurerait le degré n' et une table à double entrée donnerait, pour la valeur constante de $P + h$ et les valeurs ainsi déterminées de N et de n', la valeur de P. En regard de cette valeur de P, figureraient celles de $p + q$ et de r. Après le deuxième lavage, avant de traiter le coton par le dissolvant, on ramènerait, par une addition d'alcool au degré n, le poids de la charge à la valeur $P + p + q$, puis on ajouterait le poids r du complément du dissolvant.

Si, tout en effectuant le premier lavage sur une quantité plus

considérable de coton-poudre, on adoptait, pour la charge de l'appareil où s'effectuerait le deuxième lavage, un poids de matière pouvant être traité en une seule fois par le dissolvant, une table donnerait pour la valeur constante $(P + K)$ de la charge soumise au deuxième lavage, et en regard des valeurs mesurées de n' et de n'', les valeurs correspondantes de P, $p + q$ et r, en même temps que celle de $x - x_1$.

Dans le deuxième cas, on ne pourrait opérer ainsi, car l'alcool au degré n qu'on introduirait pour ramener le poids total à la valeur $P + p + q$ ne se répartirait évidemment pas également dans la pâte et, lorsque l'on prélèverait sur le mélange le poids d'une charge destinée à être traitée par le dissolvant, le dosage en alcool ne serait plus exact. Il serait donc inutile dans ce cas de déterminer la valeur de P et par suite de mesurer le degré N de l'alcool introduit dans l'appareil laveur pour le premier lavage, et, pour obtenir le dosage exact en alcool, on devrait recourir à une des deux dernières solutions déjà indiquées pour le cas d'un seul lavage.

Lorsqu'on ferait trois lavages, on procéderait pour le premier et le dernier comme dans le cas de deux lavages; à la fin du premier et du deuxième on éliminerait l'excès de liquide par filtration et égouttage. Pendant le dernier lavage on déterminerait, comme dans le cas de deux lavages, la quantité $x - x_1$ d'alcool à 95° à ajouter pour amener le liquide au degré n.

La correction relative au dosage en alcool s'effectuerait comme dans le cas de deux lavages.

Appliquons successivement les formules établies ci-dessus à un exemple numérique arbitrairement choisi :

Supposons que l'on ait à traiter du coton-poudre contenant 30 pour 100 d'eau; alors, pour $P + h = 100$, on a $P = 70$, $h = 30$. Admettons, pour adopter l'hypothèse la plus simple, que le poids d'alcool à 95° qui entre dans la quantité de dissolvant nécessaire pour traiter 70^{kg} de coton-poudre sec, soit précisément égal à 30^{kg}, c'est-à-dire à la quantité d'eau que renferme la charge dans le cas particulier que nous avons choisi. Proposons-nous de calculer la consommation d'alcool à 95°, en faisant varier la quantité d'humidité à laisser dans le mélange final.

Supposons d'abord que l'on veuille fabriquer un produit iden-

tique à celui qu'on obtiendrait en traitant du coton-poudre préalablement séché contenant 2 pour 100 d'humidité. Pour 70^{kg} de coton-poudre sec, la quantité d'eau, p, admise, serait donnée par l'équation

$$p = (70 + p) \times \frac{2}{100}, \qquad \text{d'où} \qquad p = 1^{kg},43.$$

Si l'on ne veut effectuer qu'un seul lavage, on doit tirer Q de l'équation (α)

$$Q = \frac{hq}{p}.$$

Or $h = 30$, $q = 30$, $p = 1,43$, donc

$$Q = \frac{30 \times 30}{1,43} = 629^{kg}.$$

On voit que la consommation d'alcool à 95° serait beaucoup trop considérable pour être admise dans la pratique, car les frais de distillation de l'alcool seraient trop élevés.

Ainsi qu'il a été exposé dans la description du procédé, une première solution consisterait à traiter le coton-poudre par une quantité d'alcool à 95° un peu moindre que la quantité Q_1 qu'on se propose de ne pas dépasser pour le traitement de la charge, puis à ne laisser dans le mélange qu'une quantité u, inférieure à $p + q$, d'alcool au degré résultant qui serait inférieur à n. Supposons que l'on se donne

$$Q_1 = 250^{kg},$$

on trouve alors

$$u = 12^{kg},44\ (^1).$$

(¹) On effectuerait le lavage à l'aide d'une quantité y d'alcool à 95° calculée à l'aide de la formule établie plus haut

$$y = \frac{(Q_1 - q)h}{h - p},$$

qui donne, en faisant $Q_1 = 250$, $q = 30$, $h = 30$, $p = 1,43$,

$$y = 231^{kg}.$$

u est donné par la formule

$$\frac{u}{y + h} = \frac{p}{h},$$

d'où l'on tire

$$u = 12^{kg},44.$$

La dépense totale d'alcool à 95° serait bien

$$231 + 19 = 250^{kg}.$$

En ajoutant à cette quantité de liquide le poids $p+q-u=31,43-12,44$, soit 19^{kg} d'alcool à 95°, on aura dans le mélange le poids $p+q$ d'alcool au degré n et l'on sera ramené au cas précédent.

Or, dans la fabrication du coton-poudre, le turbinage auquel est soumise la matière terminée laisse dans le coton-poudre 30^{kg} d'eau pour 70^{kg} de coton sec. Pour arriver, après le lavage à l'alcool, à ne laisser, dans le même poids de coton, qu'une quantité de liquide au plus égale à $12^{kg},44$, il faudrait avoir recours à la presse hydraulique et exercer une compression énergique, laquelle donnerait lieu sans doute à la production de grumeaux qui se laisseraient difficilement pénétrer par le dissolvant (1). Il sera donc sans doute nécessaire de recourir à la deuxième solution, c'est-à-dire à la méthode des lavages méthodiques (2). Dans ce cas, le poids de liquide à laisser dans le mélange contenant 70^{kg} de coton-poudre sec sera voisin de $p+q$, c'est-à-dire, dans l'exemple considéré, de $31^{kg},43$. L'action mécanique à exercer sera donc à peu près la même que celle à laquelle le coton est actuellement soumis dans les turbines essoreuses et ces appareils pourront servir pour l'élimination mécanique de l'excès d'alcool avant le traitement par le dissolvant. Si l'on se sert de la presse hydraulique, la compression à exercer sera très faible.

Si l'on faisait deux lavages, la consommation moyenne d'alcool à 95° serait fournie par l'équation (β). Ainsi qu'il a été expliqué, la quantité K d'alcool qui reste dans le mélange après filtration et égouttage peut être évaluée au maximum à 65 pour 100 du poids total; donc

$$K = 0,65(70 + K) = 130^{kg}.$$

---

(1) On éviterait jusqu'à un certain point cet inconvénient en comprimant le coton-poudre *avant* le lavage à l'alcool, car les grumeaux disparaîtraient dans l'appareil laveur; cela reviendrait à réduire la consommation d'alcool à 95° en réduisant la quantité d'eau contenue dans le coton, puisque dans l'équation (α) Q est proportionnel à h. Mais alors les opérations à effectuer seraient à la fois plus longues et plus coûteuses que celles que comporte le double lavage, puisque le coton aurait à subir, outre la compression avant lavage, le turbinage final; la consommation d'alcool à 95° serait d'ailleurs plus élevée que lorsque l'on fait deux lavages.

(2) Si le dosage en alcool était plus élevé que celui que nous avons supposé ou si la quantité d'humidité à laisser dans le coton était supérieure à 2 pour 100, on pourrait adopter la première solution sans être obligé de soumettre le coton-poudre à une compression trop forte.

L'équation (β) devient

$$x^2 + [30 + 130 - (30 + 1,43)]x - \frac{130 \times 30 \times 30}{1,43} = 0;$$

d'où l'on tire

$$x = 229^{kg}.$$

Si l'on poussait l'élimination mécanique de l'excès de liquide, à la fin du premier lavage, au même point qu'après le deuxième, c'est-à-dire si le coton était soumis à un turbinage ou une compression non seulement après le deuxième lavage, mais aussi après le premier, on aurait $K = p + q$ et la consommation d'alcool serait fournie par l'équation (γ), qui devient dans ce cas particulier

$$x^2 + 30x - \frac{30 \times 30 \times 31,43}{1,43} = 0,$$

d'où l'on tire

$$x = 126^{kg}.$$

En turbinant ou comprimant le coton après le premier lavage, on réaliserait donc, dans le cas particulier que nous examinons, une économie d'alcool égale à

$$229 - 126 = 103^{kg},$$

soit d'environ 45 pour 100.

On choisirait l'une ou l'autre des deux dernières solutions suivant que le coût de la distillation de 103^{kg} d'alcool serait inférieur ou supérieur à la dépense qu'exigeraient le turbinage ou la compression de $130 + 70 = 200^{kg}$ de coton-poudre mouillé d'alcool.

Examinons, enfin, le cas où l'on ferait trois lavages successifs en éliminant l'excès de liquide, à la fin de chacun des deux premiers, par filtration et égouttage, et en soumettant le coton à un turbinage ou à une compression à la fin du troisième. Nous avons encore $K = 130^{kg}$ et l'équation (δ) devient

$$x^3 + 227,14x^2 + 16573,14x - 10636363 = 0,$$

d'où l'on tire

$$x = 148^{kg}.$$

Ainsi, dans le cas particulier considéré, si l'on ne soumettait le coton-poudre à un turbinage ou une compression qu'après le dernier lavage, l'économie d'alcool à 95° qu'on réaliserait en faisant trois lavages au lieu de deux serait, pour 100^{kg} de coton-poudre, à 30 pour 100 d'eau, égale à

$$229 - 148 = 81^{kg}, \text{ soit environ 35 pour 100.}$$

On voit aussi que la consommation d'alcool à 95° est à peu près

la même lorsqu'on fait trois lavages avec un seul turbinage que lorsqu'on fait deux lavages avec un turbinage après chaque lavage (148^{kg} dans un cas et 126^{kg} dans l'autre).

Des trois dernières solutions la plus économique serait probablement celle qui consisterait à faire trois lavages avec un seul turbinage ou une seule compression; mais il en serait sans doute différemment si, pour éliminer mécaniquement l'excès d'alcool, on pouvait remplacer le turbinage ou la compression à l'aide de la presse hydraulique par une opération continue exigeant moins de main-d'œuvre. On serait alors probablement conduit à ne faire que deux lavages, en extrayant mécaniquement l'excès de liquide à la fin de chacun d'eux. On pourrait se servir des turbines ou des presses pour la dernière élimination d'alcool.

En calculant la consommation d'alcool à 95° pour un, deux ou trois lavages, et en supposant successivement qu'on se propose de laisser au coton-poudre soit 1 pour 100, soit 2 pour 100, etc., jusqu'à 6 pour 100 d'humidité, on obtient les résultats contenus dans le tableau suivant :

Taux d'humidité qu'on admettrait dans le coton-poudre si on le séchait préalablement.	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	Dans tous les cas on suppose : $q = 30^{kg}$, $K = 0{,}65(70+K) = 130^{kg}$, $T = 0{,}9246$.
Valeur de p (quantité d'eau qu'on laisserait dans une charge contenant 70^{kg} de coton-poudre sec).....	0^{kg},70	1^{kg},43	2^{kg},16	2^{kg},92	3^{kg},68	4^{kg},46	
Valeur de T_1, titre de l'alcool au degré $n\left(\frac{T_1}{T} = \frac{q}{p+q}\right)$....	0,9035	0,8825	0,8625	0,8426	0,8235	0,8050	
Consommation d'alcool à 95° pour 100^{kg} de coton-poudre à 30 pour 100 d'eau :							
1° Dans le cas d'un seul lavage.....	1285^{kg}	629^{kg}	417^{kg}	308^{kg}	244^{kg}	201^{kg}	
2° De deux lavages, avec un seul turbinage (1).....	349	229	177	146	126	99	
3° De deux lavages, avec deux turbinages.....	183	126	102	87	77	70	
4° De trois lavages, avec un seul turbinage (1).....	206	148	121	104	92	83	

(1) Ainsi qu'il résulte d'une remarque précédente, la consommation d'alcool à 95° serait moins élevée si l'on exerçait sur la matière, pendant l'égouttage, une légère compression de manière à diminuer la valeur de K.

Ainsi qu'il a été expliqué, ces chiffres représentent non point la consommation d'alcool pour chaque opération, mais bien la consommation moyenne pour un grand nombre d'opérations.

La consommation réelle serait naturellement un peu plus élevée par suite des pertes d'alcool.

L'examen de ces résultats montre que, lorsqu'on opère sur du coton-poudre aussi humide que celui que nous avons considéré, l'adoption d'un seul lavage ne serait indiquée que si l'on se proposait de laisser au coton-poudre 5 ou 6 pour 100 d'humidité. Ce n'est en effet que dans ces conditions que la consommation d'alcool à 95° pour 100^{kg} de coton humide devient admissible dans le cas d'un seul lavage. La méthode des lavages successifs permettrait au contraire d'obtenir, moyennant une consommation modérée d'alcool, des produits à un taux d'humidité absolument quelconque, plus faible même, s'il était nécessaire, que celui auquel on peut arriver en séchant préalablement le coton-poudre qui reprend promptement un taux d'humidité variant de 1 à 2 pour 100.

Mais si la proportion d'eau contenue dans la matière est bien inférieure à 30 pour 100, par exemple si l'on emploie du coton-poudre à 12 pour 100 d'eau, on peut réduire à 2 pour 100 le taux d'humidité en ne faisant qu'un seul lavage, sans dépenser une quantité exagérée d'alcool à 95°. On voit en effet, en conservant les autres données de l'exemple numérique choisi et en posant, pour $P+h=100$, $h=12$ au lieu de $h=30$, que les chiffres du tableau qui indiquent la consommation d'alcool dans le cas d'un seul lavage, doivent, puisque l'équation (α) montre que Q est proportionnel à h, être multipliés par le rapport $\frac{12}{30}=0,4$, et fournissent les résultats ci-dessous :

Taux d'humidité qu'on admettrait dans le coton-poudre si on le séchait préalablement	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %
Consommation d'alcool à 95° pour 100^{kg} de coton-poudre à 12 pour 100 d'eau, dans le cas d'un seul lavage	51^{4kg}	25^{2kg}	16^{7kg}	12^{3kg}	9^{8kg}	8^{0kg}

Le poids de coton-poudre sec contenu dans la charge a passé de 70^{kg} à 88^{kg}. En rapportant à 70^{kg}, pour les rendre comparables

à ceux du tableau précédent, les chiffres ci-dessus, nous obtenons les résultats suivants

$$409^{kg},\ 200^{kg},\ 133^{kg},\ 98^{kg},\ 78^{kg},\ 64^{kg}.$$

On voit qu'on pourrait alors, sans consommer une quantité bien considérable d'alcool à 95°, arriver, en ne faisant qu'un seul lavage, à ne laisser dans le coton-poudre que 2 pour 100 d'humidité.

L'expérience permettrait seule de déterminer les frais des diverses opérations ci-dessus décrites et de la distillation de l'alcool, mais le prix de revient total des produits ne serait sans doute pas augmenté, grâce à la suppression du séchage du coton-poudre, qui est une opération coûteuse et qui ne peut s'effectuer que dans des bâtiments isolés à l'installation desquels on est obligé de consacrer de grandes étendues de terrain.

[Résumé de communications faites à la poudrerie nationale de Saint-Médard, au Laboratoire central des poudres et salpêtres et au ministre de la guerre, les 16 août, 14 octobre et 24 novembre 1892.]

Le Ripault, 1er mars 1893.

EMPLOI
DES
POUDRES DE CHASSE PYROXYLÉES
TYPE J;

PAR

M. BARRAL,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

La poudre de chasse pyroxylée type J, mise en vente depuis le 1er juillet 1892, est formée de coton-poudre et de bichromate d'ammoniaque (1).

Sa composition a été déterminée en vue d'obtenir, dans les armes de chasse, une combustion aussi complète que possible et de faire ainsi disparaître les inconvénients dus aux petits grains très durs que laissent dans les armes les poudres pyroxylées contenant une certaine proportion de nitrates.

On peut, en faisant simplement varier la grosseur du grain de cette poudre, l'approprier au tir dans les armes les plus différentes, depuis les revolvers de petit calibre jusqu'aux carabines rayées tirant des balles de 35gr.

Comme la plupart des poudres pyroxylées, elle ne donne que très peu de fumée et sa détonation, plus faible que celle des poudres noires, fatigue moins le tireur.

Elle laisse dans les canons de fusil un léger résidu pulvérulent de couleur verdâtre, qui, par lui-même, est sans action sur le mé-

(1) Les essais qui ont conduit à la fabrication de la poudre J ont été publiés dans le *Mémorial des poudres et salpêtres*, t. V, p. 189.

tal, mais qui n'empêche pas la rouille, quand on laisse les armes à la pluie ou seulement à l'humidité.

Il est donc nécessaire d'essuyer les armes le plus tôt possible après le tir : dans ces conditions, la crasse, qui est sans adhérence, s'enlève très facilement, en laissant le métal parfaitement brillant sur toute sa surface. Toutefois, on étudie actuellement les moyens de supprimer cet inconvénient dont se sont plaints beaucoup de chasseurs.

Numéros de poudres J, caractères physiques et épreuves de réception.

La poudre J se présente sous la forme de grains irréguliers, très durs, de couleur brune; elle est livrée aux consommateurs sous quatre grosseurs de grains, désignés par les numéros 0, 1, 2 et 3 comme les poudres ordinaires.

Le numéro 0 est destiné au chargement des carabines rayées, les numéros 1 et 2 conviennent au tir ordinaire de chasse, et le numéro 3 est réservé aux pistolets et revolvers de très petit calibre.

Leurs caractères physiques sont en moyenne les suivants :

	POUDRES J.			
	N° 0.	N° 1.	N° 2.	
Nombre de grains au gramme.....	300	600	1250	20000
Densité réelle	1,620	1,590	1,560	1,435
Densité gravimétrique.....	0,740	0,710	0,680	0,530

Avant d'être livrées à la consommation, les poudres J sont soumises à des épreuves de tir.

L'essai des poudres (1) n° 0, 1 et 2 est fait dans un fusil calibre 16, chambré pour douilles de 65^{mm} de longueur. Les pressions par centimètre carré sont mesurées à l'aide d'un appa-

(1) Voir *loco citato*, p. 191, le détail du mode d'essai usité à Sevran.

reil crusher à cylindres de $4^{mm},9$ et les vitesses à 15^{m} avec l'appareil Le Boulengé.

On emploie 30^{gr} de plomb n° 6 non durci avec le mode de chargement recommandé pour le tir des poudres pyroxylées : douilles à amorce renforcée dites « impression or » de la Société des munitions ; sur la poudre, une rondelle mince en carton, une bourre grasse plate, une bourre sèche en feutre et sur le plomb une rondelle en carton mince avec un sertissage soigné.

Pour être à l'abri des variations de vitesse qui sont dues aux circonstances atmosphériques et aux légères modifications qui peuvent survenir dans les conditions d'essai, on tire comparativement à une poudre J n° 2 prise pour type.

Dans ces conditions, la poudre

J n° 0	à la charge de	2,80	gr	doit donner	220 à 230	m m	de vitesse avec moins de	350	kg de pression
J n° 1	»	2,80	»		240 à 250	»		500	»
J n° 2	»	2,60	»		245 à 255	»		500	»

En moyenne, les pressions sont sensiblement inférieures à ces limites.

Ces chiffres supposent que les poudres essayées sont à une humidité voisine de la moyenne, c'est-à-dire de 3 pour 100.

Pour la poudre J n° 3, les essais ont été faits jusqu'ici dans un pistolet de tir dont on parlera plus loin.

Poudre n° 0.

Tir des armes rayées.

Les poudres J peuvent être employées pour le tir à balle dans les armes rayées, et donner d'aussi bons résultats que les poudres noires, mais à la condition de prendre certaines précautions spéciales.

En effet, la plupart des armes rayées, employées par les chasseurs, étant construites et leurs munitions disposées pour le tir de la poudre noire, on doit s'attendre à ce que le remplacement de cette poudre par une poudre d'une nature différente exige quelque modification sinon de l'arme, au moins de la cartouche.

Pour montrer à quoi sont dues les difficultés que l'on rencontre, et comment on peut les vaincre, on exposera les essais faits dans le fusil modèle 1874 (fusil Gras). Il suffira ensuite de donner sommairement les résultats obtenus dans quelques-unes des armes que l'on trouve dans le commerce.

La cartouche du fusil modèle 1874 comportait à l'origine une bourre en feutre gras comprise entre deux rondelles en carton lustré, et une balle en plomb pur; plus tard on adopta une balle en plomb durci, et une bourre en cire enveloppée dans un papier parchemin mince, d'un calibre un peu inférieur à celui de la balle.

Le premier chargement donne avec la poudre J d'excellents tirs; le second en donne de très mauvais à moins d'ajouter sur la poudre un peu d'ouate qui constitue une bourre très plastique. On a vérifié d'ailleurs que le durcissement du métal de la balle était sans grande influence.

L'emploi de la poudre J dans le fusil mod. 1874 exige donc une bourre très élastique : cela tient au mode de forcement de la balle qui dans cette arme se fait entièrement par inertie, c'est-à-dire que la balle nue peut passer librement d'un bout à l'autre de l'arme, et dans le tir, ne prend l'empreinte des rayures que par suite du gonflement produit par le rapide développement des pressions; or, avec les poudres J, la pression développée aux premiers instants de la combustion augmente beaucoup moins vite qu'avec la poudre noire. Si l'on n'a pas une bourre assez bien calibrée pour obturer parfaitement, ou assez élastique pour s'aplatir sous une faible pression, les gaz de la poudre filent entre le canon et la balle qu'ils déforment complètement : on a des écarts énormes de vitesse et de portée.

Bourres. — Ces effets sont moins fréquents avec les armes où la balle force légèrement, comme les armes Winchester, mais ils se sont produits plus ou moins souvent avec toutes les armes du commerce que nous avons eues entre les mains : il faut donc, pour utiliser dans ces armes la poudre J, choisir des bourres qui soient très élastiques, comme les bourres en feutre gras ou sec, ou très bien calibrées, si l'on veut des bourres en cire. Suivant les cas, on doit préférer les unes ou les autres.

Enfin la charge de poudre J occupant moins de volume que la

charge de poudre noire, il reste fréquemment un vide qu'il faut remplir pour empêcher les bourres de se déplacer, ou même de se mêler à la poudre, quand les douilles, comme celles du fusil

Fig. 1.

mod. 1874, se renflent peu au-dessous de l'emplacement des bourres.

On a de bons résultats en employant pour cela de l'ouate fine, qui n'augmente le poids des cartouches que d'un chiffre insignifiant, 0^{gr}, 1 au plus, ou, si l'on préfère, des bourres légères en feutre sec : dans des douilles du genre de celles du fusil mod. 1874, on devra ou bien mettre une seule bourre assez épaisse pour remplir tout le vide entre la poudre et la balle, ou, si l'on en met plusieurs, les coller ensemble.

Amorces. — L'emploi, dans le tir de la poudre J, des amorces usitées pour le tir de la poudre noire ne nous a jamais donné de ratés, mais, fréquemment, il a occasionné des longs feux : il est donc préférable d'employer des amorces plus fortement chargées, toutes les fois qu'on peut le faire. De plus, l'augmentation de l'amorce a pour effet d'activer la combustion de la poudre aux premiers instants : ce qui, d'après ce qu'on a vu plus haut, contribue à la régularité du tir.

Poudres employées dans les essais. — La poudre J n° 0 est celle qui convient à la plupart des armes rayées, mais, dans certains cas, on doit lui préférer les poudres des numéros suivants.

Fusil mod. 1886. — Quelques amateurs possèdent des fusils de

petit calibre tirant des balles à enveloppe rigide, comme le fusil mod. 1886 (fusil Lebel).

La poudre J n° 0 donne de très bons résultats dans ces armes : sur la poudre il faut employer une bourre en cire comprise entre deux rondelles de carton lustré.

On a réalisé ainsi d'une façon très régulière dans le fusil mod. 1886, avec une charge de $3^{gr},30$, la vitesse de 600^{m} (V_{25}) avec une pression moyenne de 2600^{kg}.

Fusil mod. 1874 (*fusil Gras*). — Cette arme, comme on sait, tire une balle en plomb durci ou non durci de 25^{gr} qui est calepinée et graissée.

Les amorces à $0^{gr},02$ employées pour la poudre noire donnent des longs feux avec la poudre J, pour laquelle il vaut mieux prendre des amorces à $0^{gr},03$ qui n'en donnent pas.

Les vitesses inscrites dans le tableau ci-après ont été mesurées dans un fusil ordinaire; les pressions, dans un fusil percé pour recevoir un appareil de mesure des pressions à crusher de $4^{mm},9$.

DATE du tir. 1892.	POUDRE ESSAYÉE.	BOURRES EMPLOYÉES.	CHARGE employée.	VITESSE à 25m moyenne des 10 coups.	ÉCART moyen des vitesses.	PRESSION moyenne.	OBSERVATIONS.
			kr	m	m	k=	
22 et 24 oct.	J n° 0.....	2 bourres en feutre gras remplissant tout le vide et comprises entre 2 rondelles de carton lustré.	3,40	450,2	2,76	1619	
			3,25			1469	
			3,30	436,6	3,59		
	Chasse ordin. n° 0.	Bourre en cire enveloppée.	5,25	425,7	4,33	1429	
	Poudre de guerre E.		5,25	449,0	4,06	1730	La poudre E est la poudre noire la plus vive qu'on ait faite pour cette arme.
25 oct.	J n° 0.....	2 bourres en feutre gras remplissant tout le vide et comprises entre 2 rondelles de carton lustré.	3,20	421,4	4 98	1439	
			3,25	435,5	3,74	1479	
	Chasse ordin. n° 0.	Bourre en cire enveloppée.	5,25	421,9	2,00	1521	
1er déc.	J n° 0.....	2 bourres en feutre gras remplissant tout le vide et comprises entre 2 rondelles de carton lustré.	3,25	413,7	2,62	1411	
		Sur la poudre une rondelle de carton lustré, une bourre en feutre gras, une bourre en cire de 6mm parfaitement calibrée et une rondelle de carton lustré.	3,25	409,1	4,09	1396	

En résumé, la poudre J n° 0 avec des bourres en feutre gras élastiques est aussi régulière que la poudre noire.

A $3^{gr},20$, elle donne la même vitesse que $5^{gr},25$ de poudre de chasse ordinaire n° 0, avec des pressions sensiblement plus faibles.

En portant à $3^{gr},40$ la charge de poudre J, on peut atteindre les vitesses fournies par les poudres noires les plus vives qu'on ait faites pour cette arme, et cela avec des pressions moindres, mais il convient de ne pas dépasser cette charge pour éviter un excès de pression et une exagération du recul.

Carabine express calibre 577 ($14^{mm},7$). — L'arme essayée tirait une balle creuse en plomb durci de $14^{mm},4$ de diamètre pesant 34^{gr}, qui est calepinée; sans le calepin, elle passe librement dans la carabine.

Elle se place dans une douille métallique qui est remplie avec 9^{gr} de poudre de chasse ordinaire n° 0, recouverts par une rondelle de carton lustré, et une bourre en cire plastique de 5^{mm} d'épaisseur.

La cartouche ainsi confectionnée a 83^{mm} de longueur.

La vitesse obtenue (V 25) a été de 433^{m}.

On peut charger dans les mêmes conditions jusqu'à $6^{gr},80$ de poudre J n° 0, mais il serait dangereux d'aller jusque-là : la charge doit être réduite à $5^{gr},70$ qui donnent au moins la même vitesse que 9^{gr} de poudre noire. La bourre en cire plastique employée avec la poudre noire donne de très bons résultats, mais pour remplir le vide, qui est considérable, il faut ajouter une épaisseur suffisante de bourre en feutre sec.

Carabine Winchester calibre 50 ($12^{mm},7$). — Cette arme tire une balle à gorges, en plomb durci par $\frac{1}{17}$ d'étain, pesant $22^{gr},50$ et qui est graissée; elle force légèrement dans l'arme par les saillies des gorges qui ont un diamètre de $13^{mm},2$.

La douille sur laquelle la balle est sertie fortement, par rabattement du collet au moyen d'une pince spéciale, porte une amorce Winchester $2\frac{1}{2}$. Elle est remplie avec $5^{gr},25$ de poudre ordinaire n° 0, qui, sans aucune bourre, donnent des tirs très réguliers avec une vitesse, à 25^{m}, d'environ 430^{m}.

Pour avoir un tir régulier avec la poudre J n° 0, il faut mettre

sur la poudre une rondelle de carton lustré et une bourre en feutre gras ou une bourre en cire bien calibrée. La douille est alors pleine avec $3^{gr},70$ de poudre qui donnent une vitesse de 450^{m}. On a la même vitesse qu'avec la poudre de chasse ordinaire n° 0, en réduisant la charge à $3^{gr},50$.

Carabine Ballard de 38/55 ($9^{mm},65$). — Cette carabine tire une balle à gorges en plomb pur, pesant 19^{gr}, qui est graissée et qui force très légèrement par les saillies des gorges qui ont $9^{mm},6$ de diamètre.

Pour charger, on place d'abord la balle, puis la douille, qui pousse la balle dans sa position.

La douille, munie d'une amorce n° 2 Winchester, est remplie avec $3^{gr},10$ de poudre de chasse ordinaire n° 0, puis fermée par une rondelle en carton goudronné et une bourre grasse.

La cartouche ainsi chargée donne une vitesse bien régulière de 450^{m} environ (V 25).

Mais, avec la poudre J, il n'est pas possible d'avoir de bons tirs dans ces conditions. Les amorces n° 2 qui d'ailleurs donnent des longs feux, doivent être remplacées par des amorces $2\frac{1}{2}$, et sous la bourre grasse fermant la douille il faut ajouter une bourre en feutre sec bien calibrée et très élastique qui remplisse tout le vide.

On réalise dans ces conditions la vitesse de 410^{m} avec 2^{gr} de poudre J n° 0 au plus, et avec $2^{gr},10$ on peut atteindre 430^{m} de vitesse. On ne peut employer une charge plus forte sans supprimer les bourres qui assurent la régularité du tir.

Carabine Winchester calibre 32 ($8^{mm},1$). — Cette carabine tire des munitions du même genre que la carabine calibre 50.

La balle à gorges, en plomb pur, est graissée. Elle pèse $7^{gr},40$ et force notablement dans l'arme par les saillies des gorges qui ont un diamètre de $7^{mm},8$. La douille sur laquelle la balle est sertie par rabattement du collet porte une amorce Winchester n° 1. Elle est remplie, sans addition d'aucune bourre, avec $1^{gr},25$ de poudre ordinaire n° 0 qui donnent une vitesse régulière (V 25) voisine de 380^{m}.

La poudre J qui convient au tir de cette arme est le n° 2; à la

charge de $0^{gr},65$ elle donne un bon tir avec cette même vitesse de 380^{m}, à la condition de mettre sur la poudre une bourre bien calibrée de 5^{mm} à 6^{mm} d'épaisseur, en feutre sec ou mieux en feutre gras ou en cire. Pour isoler les bourres de la poudre, il faut mettre d'abord une rondelle de carton lustré.

Revolver Winchester modèle 1873, *calibre* 44 ($11^{mm},20$). — Cette arme tire encore des munitions du même genre que les armes Winchester citées ci-dessus; la balle pèse 13^{gr} et les douilles reçoivent l'amorce Winchester n° 1.

La cartouche est remplie sans aucune bourre avec $2^{gr},30$ de chasse ordinaire n° 0, donnant une vitesse régulière de 280^{m} (V_{10}).

On obtient la même vitesse et autant de régularité avec la poudre J n° 1 à la charge de $1^{gr},35$, à la condition de mettre sur la poudre une bourre en cire bien calibrée de 4^{mm} à 5^{mm} d'épaisseur, placée entre deux rondelles minces en carton lustré.

Avec le même chargement, on réalise plus de 310^{m} de vitesse avec $1^{gr},30$ de poudre J n° 2.

Revolver Smith et Wesson calibre 44 ($11^{mm},20$). — Ce revolver tire des cartouches dites *cartouches russes*. La balle, du même genre que celle des armes de Winchester, est à gorges et graissée; elle pèse $16^{gr},60$. Elle se place sans sertissage dans une douille métallique à percussion centrale.

Avec 1^{gr} de poudre de chasse forte n° 2 sans aucune bourre, on a une vitesse (V_{10}) de 195^{m}. Pour obtenir le même résultat avec la poudre J, il faut charger $0^{gr},60$ de n° 2 en employant les mêmes bourres que pour l'arme qui précède.

Résumé.

Charges et poudres à employer. — On n'a pu faire des essais dans toutes les armes qu'on trouve dans le commerce. Mais les exemples qui précèdent doivent permettre de se rendre compte des charges à employer dans la plupart des fusils que l'on peut rencontrer.

Toute arme dans laquelle on se sert, comme poudre noire, de

la poudre de chasse n° 0, peut être tirée avec la poudre J n° 0, qui donne la même vitesse, avec une charge égale en moyenne aux 64 centièmes de la charge de poudre noire : c'est la proportion qui résulte des comparaisons dans les carabines calibres 38,50 et 577 et dans le fusil modèle 1874. La plus faible proportion, 61 pour 100, est donnée par cette dernière arme, et comme dans ces conditions à vitesse égale la poudre J donne moins de pression que la poudre noire, on peut admettre, en arrondissant ce chiffre, que la poudre de chasse noire n° 0, dans toutes les armes où on l'emploie, peut être remplacée en toute sécurité par la poudre J n° 0, en réduisant en même temps la charge de 40 pour 100 ou des $\frac{2}{3}$.

Nous conseillons de ne pas employer de charges plus fortes avant de s'être assuré de la résistance de l'arme, surtout si l'on se sert avec la poudre J des amorces renforcées qui augmentent un peu les vitesses et les pressions.

Si ce mode de calcul conduit à une charge inférieure à $1^{gr},50$ et si la balle est relativement légère, il faut substituer la poudre J n° 1 à la poudre J n° 0; enfin la poudre J n° 2 ne semble pas devoir être tirée à des charges dépassant $0^{gr},75$.

Précision de l'arme. — La substitution de la poudre J à la poudre noire ayant été faite dans les conditions qu'on vient d'indiquer, il ne s'ensuit pas qu'une arme réglée pour le tir de la poudre noire se trouvera réglée pour le tir de la poudre J; sans entrer ici dans des considérations détaillées de balistique, il suffit de rappeler que la hausse d'une arme établie pour le tir d'une poudre déterminée, peut n'être plus exacte si l'on emploie une autre poudre, même si la vitesse initiale ne change pas. Mais une fois le réglage fait, la poudre J doit donner un tir aussi précis que la poudre noire si l'on observe, dans le chargement, les précautions indiquées.

Emploi des poudres n° 1 et n° 2. — Tir des fusils de chasse.

Si les poudres J n° 1 et n° 2 doivent être employées dans certaines armes rayées de petit calibre, elles conviennent surtout au tir des fusils de chasse proprement dits.

Conditions de chargement. — Le mode de chargement le

meilleur pour ces poudres est, comme pour toutes les poudres pyroxylées (¹), celui qu'on a indiqué plus haut pour les épreuves de réception des poudres J dans le calibre 16, qui donne une dispersion régulière et évite l'emplombage des canons même avec le plomb durci.

S'il reste trop de vide au-dessus du plomb, il vaut mieux ajouter une bourre en feutre supplémentaire par-dessous que par-dessus le plomb.

Résultats comparatifs fournis par les poudres J et les poudres noires.

Voici les résultats qu'on obtient en moyenne dans ces conditions de tir avec du plomb n° 6 (230 grains environ pour 30^{gr}). Ils permettront de déterminer les charges qu'il convient d'employer pour éviter un excès de pression, avec toute espèce de plomb, puisque la grosseur et la nature du plomb sont sans influence notable sur les pressions développées.

(¹) Voir *loco citato*, p. 213 et suivantes, les essais qui ont conduit à l'adoption de ce mode de chargement.

POUDRE ESSAYÉE.	CHARGES EMPLOYÉES. Poudre.	Plomb.	VITESSE moyenne à 15m.	PRESSION moyenne.	OBSERVATIONS.
Fusil calibre 20, *chambré pour douilles de* 65mm.					
	gr	gr	m	kg	
Poudre de chasse ord. n° 3.	4,10	30	267	575	La douille est pleine.
	4,30	28	276	570	
	4,50	26	283	565	
Poudre de chasse forte n° 2.	4,00	26	275	695	
Poudre J n° 2.....	2,40	26	263	550	
	2,20	26	259	535	
	2,00	26	248	490	
	2,40	30	247	580	Pour employer ces charges il faut supprimer la bourre en feutre sec.
	2,60	28	265	635	
	2,60	26	278	600	
Fusil calibre 16, *chambré pour douilles de* 65mm.					
	gr	gr	m	kg	
Poudre de chasse ord. n° 3.	4,00	30	245	460	
	4,50	30	260	495	
Poudre de chasse forte n° 2.	4,00	30	250	605	
	4,50	30	265	675	
Poudre J n° 2.....	2,60	30	250	455	
	2,80	30	260	515	La douille est pleine.
	2,60	34	245	495	
	2,70	34	250	520	La douille est pleine.
Poudre J n° 1.....	2,80	30	245	415	
	2,80	34	240	455	
	3,00	34	250	505	La douille est pleine.
Fusil calibre 12.					
1° *Fusil chambré pour douilles de* 65mm *de longueur.*					
	gr	gr	m	kg	
Chasse ordinaire n° 0.....	6,50	36	268	435	
	6,50	38	267	465	
Chasse ordinaire n° 2.....	6,20	36	273	455	
Poudre J n° 2.....	3,50	36	273	580	
	3,80	36	285	650	
Poudre J n° 1.....	3,80	36	264	450	Pour employer ces charges il faut supprimer la bourre en feutre sec.
	4,00	36	269	485	
	3,80	38	263	480	
	4,00	38	275	535	
2° *Fusil chambré pour douilles de* 75mm *de longueur.*					
	gr	gr	m	kg	
Poudre J n° 1.....	3,80	36	270	450	

D'ailleurs, les conditions de recette de la poudre J n° 1, dans le calibre 16, ont été déterminées de façon que dans le calibre 12, chambré pour douilles de 70^{mm} ou 75^{mm}, elle donne à la charge de $3^{gr},80$ la vitesse de 270^{m} avec une pression inférieure à 550^{kg}, la charge de plomb étant 36^{gr}.

Charges à employer. — Les pressions d'épreuves des fusils de chasse sont d'environ (1)

730^{kg}	pour le calibre	20,
710	»	16,
750	»	12.

D'après ce qui précède, avec les poudres J, la pression moyenne ne peut atteindre ces chiffres dans les armes chambrées pour douilles de 65^{mm} de longueur, quelles que soient les charges de poudre et de plomb employées. Mais cela ne saurait suffire à assurer toute sécurité, puisque les chiffres indiqués ne sont que des moyennes; or, dans le tir d'une série de cartouches faites dans des conditions identiques, il arrive souvent qu'un coup donne 60^{kg} de plus que la moyenne; en outre, les poudres bien qu'essayées avant d'être livrées à la consommation ne donnent pas toujours exactement les résultats moyens, enfin les vitesses et les pressions peuvent augmenter en été de 100^{kg} à 150^{kg}, par suite de l'élévation de la température, et d'une modification de la poudre qui se dessèche. Il est donc prudent d'employer des cartouches ne donnant qu'une pression moyenne notablement inférieure à la pression d'épreuves des armes, par exemple les $\frac{3}{4}$ de cette pression, soit

550^{kg}	pour le calibre	20,
530	»	16,
560	»	12,

ce qui fait 180^{kg} au-dessous de la pression d'épreuve de l'arme.

Les charges à employer peuvent donc être fixées comme il suit.

---

(1) Voir JOURNÉE, *Mém. poudr. salp.* : 3 285.

Dans les fusils calibre 20, qui sont des armes légères, une forte charge de plomb donnerait des reculs exagérés; il convient de limiter le poids du plomb à 26^{gr}, et la charge de poudre à $2^{gr},40$, les charges ordinaires variant de 2^{gr} à $2^{gr},20$; si l'on veut tirer de plus fortes charges, il est préférable de se servir d'un calibre 16.

Dans le calibre 16, la poudre J n° 2 est celle qui doit être préférée, car la poudre J n° 1 pour donner les mêmes vitesses doit être employée à charge plus forte, sans que cet inconvénient soit compensé par la légère diminution de pression sans importance dans ce calibre. La charge de plomb admise pour le calibre 16 est de 30^{gr}; si l'on veut tirer des charges plus fortes, il vaut mieux prendre un calibre 12. La limite supérieure de la charge de poudre J n° 2 sera de $2^{gr},80$ et les charges ordinaires devront être comprises entre $2^{gr},50$ et $2^{gr},60$.

Dans le calibre 12, chambré pour douilles de 65^{mm} ou pour douilles plus longues, du moment qu'on ne veut pas obtenir de très grandes vitesses, la poudre J n° 2 est préférable puisqu'elle exige des charges plus faibles. Avec 36^{gr} de plomb, qui est une charge parfaitement appropriée au calibre 12, il est bon de ne pas dépasser la charge de $3^{gr},50$; les charges à recommander sont de $3^{gr},20$ à $3^{gr},30$.

Si l'on veut, pour obtenir de grandes vitesses, utiliser la capacité des douilles de 70^{mm} ou 75^{mm} de longueur, il faut renoncer à la poudre J n° 2 qui pourrait donner des pressions moyennes égales à la pression d'épreuve et employer le n° 1, avec lequel on peut tirer sans inconvénient jusqu'à 38^{gr} de plomb avec 4^{gr} de poudre.

Emploi des bourres en cire. — On a recommandé (1) fréquemment comme bourres pour les fusils de chasse des bourres dites *bourres en cire,* mais formées généralement d'un mélange de cire et de graisse, la cire seule n'étant pas suffisamment plastique. Jusqu'ici ces accessoires ne se trouvaient pas dans le commerce. Aujourd'hui la *Société des munitions* met en vente des bourres de cette espèce, sous le nom de *bourres plastiques et lubrifiantes;* elles ont 12^{mm} de hauteur et sont constituées par une

(1) JOURNÉE, *loco citato,* p. 299.

composition légèrement plastique, comprise entre deux rondelles de carton de 1^{mm} d'épaisseur. Avec ces bourres qui sont d'une fabrication très régulière, on a d'excellents tirs; mais on obtient des vitesses et surtout des pressions notablement supérieures à celles que donne le chargement recommandé pour la poudre J. Ainsi dans le calibre 16, pour avoir avec ces bourres la même vitesse qu'avec la bourre grasse et la bourre de feutre superposées, il faut réduire la charge de $0^{gr},1$, mais la pression reste encore plus forte de 70^{kg} environ qu'avec les deux bourres.

On ne doit donc employer ces bourres, surtout en été, qu'avec des charges sensiblement inférieures à celles qui ont été indiquées ci-dessus et par conséquent ne pas dépasser pour la poudre J n° 2 :

^{gr} 2,10	dans le calibre	20,
2,50	»	16,
3,10	»	12.

Emploi de la poudre J n° 3.

L'emploi de la poudre J n° 3 doit être restreint aux armes qui tirent à de très faibles charges, $0^{gr},40$ au plus.

Il serait dangereux de vouloir l'employer dans les armes de chasse ordinaires; dans le calibre 16 par exemple, avec 30^{gr} de plomb on atteint déjà avec $1^{gr},50$ de poudre une pression de plus de 400^{kg}, c'est-à-dire à peu près celle que donne la poudre J n° 2 à la charge de $2^{gr},60$. Pour un très faible accroissement de charge, la pression augmente très rapidement et devient dangereuse.

Pistolet de tir. — Cette poudre a été étudiée primitivement pour remplacer la poudre noire dans le pistolet de tir rayé, employé par M. Gastinne Renette; cette arme se charge par la culasse et tire une balle en plomb sphérique de $11^{mm},8$ de diamètre pesant $9^{gr},70$.

En amorçant avec des capsules n° 3 de première qualité, on a avec $0^{gr},25$ d'extrafine, charge qui remplit la chambre à poudre, une vitesse de 160^{m} (V_{10}) et 5^{m} de moins avec la chasse forte n° 4.

Avec $0^{gr},13$ de poudre J n° 3, on a, dans les mêmes conditions, 145^{m} de vitesse; avec $0^{gr},15$ qui remplissent complètement la chambre à poudre, la vitesse atteint 165^{m}.

La poudre J a l'avantage pour cette arme de faire beaucoup moins de bruit que la poudre noire, et d'éviter l'encrassement qui avec la poudre noire enlève à l'arme une grande partie de sa justesse après quelques coups.

Revolver modèle 1873. — Le revolver d'ordonnance modèle 1873 est une arme bien connue.

La balle en plomb pur pèse $11^{gr},6$ et a $11^{mm},6$ de diamètre; elle doit être graissée.

La douille qui la reçoit a l'amorçage Gaupillat.

Les résultats qui suivent ont été obtenus sans aucun sertissage de la douille sur la balle.

Avec $0^{gr},70$ d'extrafine qui remplissent la douille et sans aucune bourre, on a une vitesse régulière de 205^{m} (V_{10}), et 10^{m} de moins avec la même charge de chasse forte n° 4.

La poudre J n° 3, pour donner un bon tir, exige l'emploi de bourres en cire parfaitement calibrées de 4^{mm} environ d'épaisseur; avec $0^{gr},35$ de poudre on remplit la douille et l'on dépasse notablement la vitesse de 205^{m} qu'on atteint avec $0^{gr},32$ environ. Les bourres souples en feutre graissées n'ont donné que des résultats bien inférieurs comme vitesse et comme régularité.

En résumé, la poudre J n° 3 doit être réservée aux armes dans lesquelles on emploie d'habitude l'extrafine, et la charge ne doit pas dépasser les $\frac{2}{5}$ de celle de la poudre noire, tant qu'on ne s'est pas assuré que l'arme dont on se sert peut supporter sans inconvénient des pressions notablement supérieures à celles qu'on lui impose avec la poudre noire.

Sevran-Livry, le 29 décembre 1892.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

COMMISSION

DES

SUBSTANCES EXPLOSIVES

PENDANT L'ANNÉE 1892 (1).

Ce rapport, établi conformément à l'article 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° *Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année* 1892;

2° *Revue des travaux effectués pendant la même année.*

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année.

RAPPORT N° 72. — *Sur l'étude des dangers de transport des mélinites et crésylites.*

(Étude confiée à une sous-commission spéciale; rapporteur M. VIEILLE.)

Par dépêche du 10 juin 1890, le ministre de la guerre a chargé la commission d'établir le programme de nouvelles expériences

(1) Voir **1** 432, **2** 573, **3** 171, **4** 205 et **5** 68 les *Comptes rendus* des travaux exécutés de 1878 à 1891.

ayant pour but de démontrer l'innocuité relative des mélinites et crésylites, au point de vue de leur transport par chemins de fer. Ces expériences nouvelles devaient étendre et compléter les résultats obtenus dans les essais antérieurs, effectués à la poudrerie du Bouchet et relatés dans une note en date du 8 juillet 1887.

Par lettre du 26 mai 1891, le président de la commission des substances explosibles faisait connaître à M. le ministre de la guerre le programme des essais complémentaires que la commission jugeait utile d'entreprendre à la suite de la discussion approfondie, à laquelle elle s'était livrée, de tous les documents postérieurs à la note précitée qu'elle avait pu recueillir au sujet de la sécurité d'emploi et de maniement des mélinites et crésylites.

Par dépêche du 27 juin 1891, le ministre de la guerre autorisait la commission à procéder à l'exécution des expériences qu'elle avait en vue.

La commission a pris pour base de ses études les expériences étendues entreprises à la poudrerie du Bouchet sur les causes de danger que peut présenter le transport de la mélinite par chemin de fer et elle a cherché, conformément aux prescriptions du ministre, quels étaient les points sur lesquels il paraissait désirable de réunir des renseignements plus complets que ceux qui sont renfermés dans la note du Bouchet, du 8 juillet 1887.

Les expériences effectuées au Bouchet se classent en trois catégories, répondant aux diverses conditions dangereuses dans lesquelles les mélinites pourraient se trouver placées par suite d'un accident survenant en cours de transport, savoir :

1° Expériences de choc;

2° Expériences relatives aux causes de danger provenant de la rupture accidentelle d'un récipient de mélinite;

3° Causes de danger résultant de l'incendie.

En ce qui concerne les expériences de choc, la commission a trouvé dans les expériences de tir effectuées récemment par l'artillerie, sur des projectiles chargés en mélinite et portés à haute température, un complément d'information qui, rapproché des expériences primitives du Bouchet, lui permet d'affirmer que les mélinites supportent sans accident des épreuves de choc plus dures que celles qui pourraient résulter d'un accident de transport.

Les causes de danger résultant de la rupture accidentelle d'un récipient de mélinite et du répandage de l'explosif sur la voie ont été soumises, par la commission, à une nouvelle étude, dans des expériences effectuées avec le concours de la compagnie des chemins de fer du Nord. Dans ces essais, la commission se proposait de reconnaître si les phénomènes observés à la poudrerie du Bouchet changeraient de nature sous l'influence des charges par essieu considérables usitées pour la traction des trains de marchandises animés des vitesses courantes d'exploitation.

Les résultats entièrement favorables de ces nouvelles expériences ont conduit la commission à émettre l'avis qu'il n'y a pas lieu de redouter de danger appréciable résultant de l'écrasement des matières par un train animé des vitesses courantes d'exploitation.

Les causes de danger résultant de l'incendie d'un chargement de mélinite ont été l'objet d'une étude toute spéciale de la commission. Elle a pensé que des expériences sur des quantités forcément très limitées d'explosif ne pouvaient fournir des renseignements probants sur le mode de combustion de chargements pouvant atteindre des centaines et même des milliers de kilogrammes; mais elle a trouvé dans les accidents survenus dans ces dernières années, au cours de la fabrication ou de l'emploi en grand des nouveaux explosifs, les données nécessaires pour apprécier le fonctionnement des mélinites et crésylites brûlant en grande masse.

Une discussion approfondie des conditions réalisées dans ces accidents lui a permis de conclure que, dans tous les cas qui lui sont connus, les mélinites soustraites à l'action du plomb et atteintes en grande masse par l'incendie se sont comportées comme des matières combustibles ordinaires sans caractère explosif, et qu'il n'y a pas lieu d'attribuer une probabilité quelconque de danger à la combustion d'un chargement de mélinites et crésylites régulièrement emballées, sous la seule condition que le plomb soit exclu des wagons qui les renferment et de ceux qui leur sont contigus.

La commission a également cherché à acquérir quelques notions sur la nature des phénomènes qui résulteraient du foudroiement d'un chargement de mélinite, bien qu'en réalité aucun cas de foudroiement de train en marche n'ait été encore signalé dans

l'exploitation des chemins de fer français. Les expériences ont consisté à comparer l'action de décharges électriques puissantes sur les nouveaux explosifs et la poudre noire. Dans aucun cas, les mélinites et crésylites n'ont donné lieu à détonation ou inflammation directe par l'étincelle, tandis que la poudre noire a fait explosion dans toutes les conditions d'expérience.

En résumé, la commission conclut à l'innocuité des mélinites et crésylites en cours de transport, lorsque ces matières sont renfermées dans des enveloppes de la nature des barils à pétrole et caisses réglementaires de la guerre, à l'exclusion des obus ou récipients métalliques de résistance équivalente.

Ces conclusions ne subsistent, toutefois, qu'à la condition que le plomb se trouve exclu, soit des emballages, soit du matériel de transport.

Rapport n° 73. — *Sur l'encartouchage des grisoutines de la société française des explosifs.*

(Étude confiée à la 1re section ; rapporteur : M. Bruneau.)

Par dépêche en date du 19 janvier 1891, le ministre de la guerre a soumis à l'examen de la commission des substances explosives les types des cartouches fabriquées à l'usine de Cugny (Seine-et-Oise), le mode d'encartouchage des grisoutines de la société française des explosifs ne satisfaisant pas aux conditions de l'article 3 du règlement du 10 janvier 1879, relatif au transport des dynamites par voie ferrée.

Cet article stipule que les cartouches seront recouvertes de papier parchemin ou autre enveloppe imperméable et que cette enveloppe sera collée et fermée de façon à prévenir tout suintement de nitroglycérine.

La commission a reçu, le 6 février 1891, des cartouches de grisoutine expédiées par la société française des explosifs. Ces cartouches étaient de deux espèces : les unes comprimées, les autres en pâte. Chaque cartouche était enfermée dans une double enveloppe ainsi composée : un papier mince paraffiné avant emploi, à bouts repliés, entourait la substance explosive; il était recouvert d'un papier parchemin, également non collé, et dont les bouts étaient repliés sur ceux de la première enveloppe.

Ce système d'encartouchage a été soumis à des expériences comparatives dans lesquelles les cartouches, différemment enveloppées, ont été exposées dans une atmosphère saturée d'humidité. On a pu constater qu'au bout de 95 jours, les cartouches de la société étaient remplies d'eau, impropres à tout service, alors que les mêmes cartouches, paraffinées à Sevran, accusaient de 1,42 à 5,63 pour 100 d'humidité, selon la nature des grisoutines.

Le mode d'encartouchage adopté par la société française des explosifs était donc défectueux; les expériences montraient que le papier parchemin qu'elle emploie condense l'humidité et que l'enveloppe en papier paraffiné, avec joint non collé, est insuffisante pour protéger la grisoutine.

De plus, par suite de l'absorption de l'humidité, les cartouches de grisoutine laissaient suinter de la nitroglycérine au bout d'un temps compris entre 19 et 25 jours.

La société des explosifs, informée que les cartouches qu'elle avait présentées ne satisfaisaient pas aux prescriptions de l'article 3 du règlement du 10 janvier 1879, fit parvenir à la commission, en juin 1891, de nouvelles cartouches dont l'enveloppe était collée.

Soumises à des essais semblables aux précédents, ces cartouches ont donné des résultats plus satisfaisants; l'augmentation de poids dans une atmosphère saturée d'humidité devenait alors peu sensible, même après une exposition de 30 jours.

En conséquence, la commission a émis l'avis que le nouvel encartouchage de la société française des explosifs paraissait satisfaire aux prescriptions du règlement du 10 janvier 1879.

Rapport n° 74. — *Sur la réglementation du séchage du coton azotique.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur, M. Lambert.)

A la suite d'une explosion survenue le 4 octobre 1891, dans un séchoir à coton-poudre de la dynamiterie de Paulilles, M. le ministre de la guerre a, par dépêche du 16 novembre suivant, demandé à la commission des substances explosives de lui donner son avis sur les conditions à imposer pour le séchage du coton azotique dans les fabriques de dynamite.

Aucune réglementation n'existait, en effet, pour cette opération qui est effectuée non seulement dans les dynamiteries, mais aussi dans les fabriques de celluloïd et de collodion.

Les chances d'inflammation et d'explosion que cette opération présente sont cependant considérables; elles résultent de la facilité avec laquelle le coton-poudre se décompose sous l'influence d'une température peu élevée, d'un choc ou d'un frottement un peu énergique.

A la suite de l'examen auquel elle s'est livrée, la commission a proposé, pour l'installation des séchoirs à coton-poudre, l'adoption des règles suivantes :

1° La température des appareils de chauffage à leur entrée dans le séchoir, et par conséquent en un point quelconque de l'atelier, ne devra pas être supérieure à 65° C.; des thermomètres avertisseurs, placés dans l'atelier, devront être disposés de façon à prévenir par une sonnerie dès que la température dépassera ce chiffre.

Les appareils de chauffage seront, en outre, établis de manière que les poussières de coton-poudre ne puissent être entraînées en dehors du séchoir et transportées en des points dont la température serait supérieure à 65°.

2° La température à laquelle le coton-poudre sera porté pendant le séchage ne dépassera pas 55°.

3° Toute opération de transvasement (mise en sacs, pesage, etc.) sera interdite à l'intérieur du séchoir; la préparation des récipients contenant le coton-poudre humide sera faite dans un autre atelier, de manière que l'on n'ait qu'à placer ces récipients sur les appareils de séchage et à les enlever avec leur contenu, sans toucher à ce dernier, quand le séchage sera terminé.

4° Le poids de chacun de ces récipients, chargé de coton-poudre humide, ne devra pas dépasser 8^{kg}.

5° Les appareils seront disposés de façon que toutes les parties soient accessibles, faciles à visiter et à nettoyer, et que les opérations de chargement et de déchargement puissent être opérées sans chocs ni frottements dangereux.

6° La quantité totale de coton-poudre que pourra contenir un séchoir, sauf dans des cas exceptionnels d'isolement, sera limitée à 150^{kg}.

7° Les séchoirs seront construits comme les autres bâtiments de la fabrication renfermant des matières susceptibles de faire explosion, c'est-à-dire avec des parois et une toiture légères, autant que possible en matériaux incombustibles et ne présentant aucun vide où la poussière de coton-poudre pourrait se loger et séjourner.

De plus, la commission a cru devoir signaler au ministre que ces mesures deviendraient inefficaces s'il s'agissait de sécher, comme à Paulilles, du coton azotique n'offrant pas les garanties de stabilité que présente le coton-poudre fourni par l'État.

En conséquence, la commission a été d'avis que, si l'administration ne croit pas possible d'imposer à tous les industriels qui emploient le coton azotique l'obligation de se conformer à la loi du monopole et de ne se servir que des produits préparés par le service des poudres et salpêtres, il sera indispensable de soumettre, en tout cas, le coton-poudre fabriqué par ces industriels à des épreuves rigoureuses permettant de vérifier sa résistance à l'action de la chaleur, cette vérification devant être d'ailleurs, pour les dynamiteries, une garantie de conservation des explosifs dans la composition desquels entre le coton-poudre.

Rapport n° 75. — *Sur l'étude des pétards pour signaux de chemins de fer.*

(Étude confiée à la 3e section; rapporteur M. Bruneau.)

L'attention de la commission a été appelée sur les craintes que manifestaient certaines compagnies de chemins de fer à généraliser l'usage des signaux de détresse pour la manœuvre des trains, en particulier dans les gares, en raison des projections auxquelles l'enveloppe métallique peut donner lieu au moment de la détonation, et elle a recherché s'il ne serait pas possible de modifier les pétards, de manière à réduire, sinon à supprimer les éclats projetés.

Pour apprécier les inconvénients présentés par ces signaux, la commission s'est procuré des pétards des divers types employés par les compagnies et les a soumis à des expériences comparatives d'abord entre eux, puis avec des types préparés par ses soins.

Les premières expériences effectuées ont montré nettement que les éclats projetés, et recueillis sur des panneaux en carton, pro-

venaient des surfaces latérales des signaux (rebords soudés à recouvrement dans les modèles nord et ouest) ou de la plaque de verre sur laquelle reposait la pastille d'explosif dans certains types de pétards.

En vue de parer à ces inconvénients, la commission a fait confectionner des enveloppes en carton laqué et en celluloïd, conservant la forme extérieure des pétards actuellement en usage.

Les pétards en celluloïd ont seuls donné des projections inoffensives.

Ce pétard se compose de deux parties : une plaque de fond en fer-blanc, portant les ressorts de fixation, et une boîte hermétique en celluloïd renfermant la pastille explosive reposant sur un disque de carton. La boîte, collée à la plaque du fond, est formée de deux parties, après introduction de la pastille, à l'aide d'un dissolvant approprié.

Avec ces signaux, on retrouve en général sur place le fond et le couvercle en celluloïd; la plaque qui porte les ressorts n'est pas atteinte; le celluloïd s'enflamme quelquefois, les projections sont nulles ou insignifiantes.

La comparaison des résultats obtenus avec ces divers signaux a conduit la commission à penser que le modèle de signal qu'elle a réalisé peut donner une solution satisfaisante de la question, mais il est évidemment nécessaire qu'il soit mis en essai par les compagnies pour vérifier si, dans le service courant, il ne présentera pas quelque inconvénient que les essais restreints qu'elle a pu exécuter n'ont pu faire découvrir.

Rapport n° 76. — *Sur le transport des armes et munitions de chasse.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur M. Vieille.)

Par dépêche du 10 mai 1892, le ministre de la guerre a soumis à l'examen de la commission une demande, formée par M. le président de la chambre de commerce de Saint-Étienne, tendant à obtenir, pour les fabricants d'armes, l'autorisation de mettre dans les caisses qui contiennent soit une carabine, soit un revolver, une petite boîte renfermant 100 cartouches métalliques, ces munitions devant suivre l'arme à laquelle elles sont destinées.

Le ministre demandait à la commission de lui faire connaître, dans le cas où cette demande serait favorablement accueillie, quelles sont les mesures de précautions spéciales qui devaient être insérées dans le décret ou arrêté à intervenir.

La commission a pensé que l'autorisation demandée par la chambre de commerce de Saint-Étienne ne modifierait en rien les conditions de transport actuellement admises par l'arrêté du 9 janvier 1888 pour les munitions de sûreté et qu'elle ne vise, en réalité, que la suppression de la formalité de la déclaration et des indications extérieures des munitions, dans le cas d'expédition d'échantillons de faible importance.

Elle rappelle qu'en Angleterre, à la suite d'expériences très concluantes, toutes les munitions de sûreté ont été admises à l'expédition par les trains de voyageurs, comme des marchandises ordinaires, et que les caisses qui les contiennent ne sont pas astreintes à porter la marque extérieure *Explosifs*.

La commission estime qu'une tolérance de cette nature, limitée à l'expédition des quantités indiquées par la chambre de commerce de Saint-Étienne, ne saurait présenter de danger pour les personnes, pourvu que les emballages soient effectués dans de bonnes conditions.

A cet effet, elle est d'avis qu'il conviendrait de prescrire que les 100 cartouches métalliques jointes à l'arme à laquelle elles sont destinées seront emballées dans une petite caisse en bois spéciale, solidement fixée dans la caisse principale, et dont les parois auront au moins 8^{mm} d'épaisseur.

II. — Revue des travaux effectués pendant l'année.

ÉTUDE N° 35.

Étude de la stabilité du coton-poudre en râpures.

La commission a soumis à des expériences de conservation prolongée, dans le cours des années 1884 à 1899, des échantillons de coton-poudre de la marine ayant subi les actions mécaniques résultant de râpages à la lime, de perçage au foret ou de découpage sur le tour. Ces divers produits sont restés en parfait état de conservation.

Dans ces conditions, la commission considère qu'il n'y a pas d'intérêt à prolonger l'étude du coton-poudre en râpures.

ÉTUDE N° 65.

Question du transport des mélinites et crésylites par voie ferrée.

Cette étude a donné lieu, en 1892, à l'établissement du rapport n° 72, analysé plus haut.

ÉTUDE N° 66.

Étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.

La commission, n'ayant pas reçu, dans le cours de l'année 1892, des renseignements nouveaux relatifs à l'emploi des explosifs dans les mines grisouteuses, considère cette étude comme terminée.

ÉTUDE N° 71.

Étude des dérivés nitrés de la naphtaline.

La commission a poursuivi, au cours de l'année 1892, l'essai des nitronaphtalines provenant de la fabrication des poudreries de l'État et de divers industriels. Les échantillons, au nombre de 33, ont été soumis à l'épreuve de mesure des pressions fournies en vase clos à la densité 0,3. Ces échantillons ne présentent pas, au point de vue de la force, de supériorité appréciable par rapport au type considéré par la commission comme susceptible d'une fabrication industrielle normale et répondant à la composition de la trinitronaphtaline.

ÉTUDE N° 82.

Emploi des explosifs dans les mines.

Une série d'expériences a été effectuée, en mai 1892, à la poudrerie de Sevran-Livry, dans les carrières à plâtre voisines de l'établissement. La mesure des pressions maxima a été complétée par l'inscription de la loi d'écrasement du cylindre crusher. La commission renouvelle le vœu qu'elle a formulé en 1891, tendant

à étendre ces essais à des milieux différents et à des charges plus considérables en utilisant les expériences d'explosions faites annuellement dans les écoles du génie.

ÉTUDE N° 87.

Encartouchage des grisoutines de la Société française des explosifs.

Les essais exécutés ont abouti à l'établissement du rapport n° 73, dont l'analyse est donnée ci-dessus.

ÉTUDE N° 88.

Mode d'épreuve des dynamites à l'ammoniaque.

Cette étude a donné lieu à des expériences dont les résultats seront consignés dans un prochain rapport.

ÉTUDE N° 90.

Réglementation du séchage du coton azotique.

Cette étude a donné lieu, en 1892, à l'établissement du rapport n° 74, analysé plus haut.

ÉTUDE N° 91.

Étude des pétards pour signaux de chemins de fer.

Les recherches et essais que la commission a entrepris sur cette étude sont résumés dans le rapport n° 75, dont l'analyse est donnée ci-dessus.

ÉTUDE N° 92.

Transport des armes et munitions de chasse.

L'examen de la demande qui a fait l'objet de cette question a donné lieu, en 1892, à l'établissement du rapport n° 76, analysé plus haut.

ÉTUDE N° 93.

Dangers de transport et d'emmagasinage des explosifs Favier.

Cette étude a donné lieu à des expériences dont les résultats seront consignés dans un prochain rapport, qui sera adressé au ministre.

ÉTUDE N° 94.

Dangers de transport des cordeaux détonants.

Les essais de la commission ont montré que les cordeaux détonants en étain, actuellement employés pour les services de la guerre, ne présentent pas de causes de danger supérieures à celles que présentent les matières inflammables ordinaires admises au transport par voie ferrée. Un rapport sera prochainement établi.

Paris, le 9 février 1893.

Vu :

Le président,
BERTHELOT.

Le secrétaire,
P. VIEILLE.

ANNEXE.

COMPOSITION DE LA COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES AU 31 DÉCEMBRE 1892.

Par dépêche en date du 21 juin 1892, le ministre de la guerre a informé M. le président qu'il a désigné M. le sous-ingénieur BIJU-DUVAL, pour faire partie, en qualité de membre adjoint, de la commission des substances explosives, en remplacement de M. le sous-ingénieur BRUNEAU, mis en congé hors cadres.

Par décision du 29 juin 1892, le ministre de la guerre a nommé M. le colonel LEHERLE, directeur du laboratoire central de la marine, aux fonctions de membre titulaire de la commission, en remplacement de M. le colonel DE LA ROQUE, appelé à d'autres fonctions.

Par décision du 29 août 1892, le ministre de la guerre a nommé M. le chef d'escadron d'artillerie de la marine RUAULT membre adjoint de la

commission, en remplacement de M. le commandant BRISSE, appelé à un séjour colonial.

Enfin, par décision du ministre de la guerre, en date du 8 octobre 1892, M. le capitaine d'artillerie de la marine DIDELOT a été nommé membre adjoint de la commission, en remplacement de M. le capitaine RICHARD, appelé à servir aux colonies.

En conséquence, le personnel de la commission des substances explosives, au 31 décembre 1892, est composé ainsi qu'il suit :

MM. BERTHELOT, président;
CASTAN, membre titulaire;
CORNU, membre titulaire;
HAFFEN, membre titulaire;
LAMBERT, membre titulaire;
LEHERLE, membre titulaire;
SARRAU, membre titulaire;
VIEILLE, membre titulaire, secrétaire.

BERTRAND, membre adjoint;
BIJU-DUVAL, membre adjoint;
BRUGÈRE, membre adjoint;
DÉSORTIAUX, membre adjoint;
DIDELOT, membre adjoint;
LARDILLON, membre adjoint;
LIOUVILLE, membre adjoint;
LOUIS, membre adjoint;
RUAULT, membre adjoint.

TEMPÉRATURE DÉVELOPPÉE DANS LES ARMES

PAR LE TIR.

EXTRAIT DES RAPPORTS

de MM. les capitaines BERTRAND, du 103e régiment de ligne, et LAROCHE, du 18e bataillon de chasseurs.

NOTE PRÉLIMINAIRE.

Par dépêche du 16 octobre 1891, M. le ministre de la guerre a demandé d'examiner s'il était possible de comprendre l'étude de la détermination des températures développées dans les armes par le tir dans le programme des travaux des capitaines d'infanterie détachés à la poudrerie d'Esquerdes. Après quelques essais exécutés par MM. les capitaines Hervé de Beaulieu et Bazinet, on reconnut que la question pouvait être utilement posée et dans sa lettre au ministre, du 5 janvier 1892, le directeur proposa à cet égard l'emploi d'une méthode fondée sur la détermination distincte des quantités de chaleur que reçoit le canon du fusil pendant le tir, et de celles qui se perdent par le rayonnement extérieur et le contact de l'air. Au moyen de ces déterminations on devait pouvoir calculer la température du fusil dans tous les cas par des procédés analytiques appropriés, sur lesquels il est inutile d'insister ici et qui sont d'ailleurs indiqués dans le rapport ci-après de MM. les capitaines Bertrand et Laroche. A la suite de ces propositions, le ministre, dans sa dépêche du 11 janvier 1892, transmit définitivement, à la poudrerie d'Esquerdes, l'ordre de mettre à l'étude la question de l'échauffement du fusil.

MM. les capitaines de Beaulieu et Bazinet reprirent alors leurs

essais pour déterminer les conditions dans lesquelles les quantités de chaleur à évaluer pouvaient être mesurées avec le plus de précision.

Ultérieurement et successivement, toutes ces mesures ont été effectuées par MM. les capitaines Franquet et Verdier, puis par M. le capitaine Rémond, enfin par MM. les capitaines Bertrand et Laroche. On trouvera le détail et les conclusions de ces recherches dans le rapport susdit de MM. Bertrand et Laroche.

En résumé, la méthode repose sur ce principe, qu'en maintenant la surface extérieure du canon du fusil à une température donnée, ce canon recueille dans le tir une quantité de chaleur égale à celle qui l'aurait pénétré, si sa surface fût parvenue, naturellement, à l'air libre, à cette même température. Pour échauffer ainsi la surface extérieure, on enveloppe le canon d'un manchon plein d'eau ou de mercure à la température voulue. Ce manchon sert en même temps de calorimètre; il emmagasine la chaleur que recueille le canon pendant le tir, et c'est d'ailleurs dans le liquide du manchon que se font les déterminations des températures qui servent de base à toutes les évaluations.

Pour ce qui est du refroidissement du canon par l'air extérieur, la méthode employée est également simple. On chauffe le fusil et on le laisse se refroidir à l'air en notant d'instant en instant l'abaissement de sa température. A cet effet, on remplit de mercure l'âme du canon, et l'on plonge dans le mercure la boule d'un thermomètre dont la tige émerge hors de la bouche du fusil.

Bien que les déterminations des valeurs des coefficients d'échauffement et de refroidissement du canon aient été en somme peu nombreuses et puissent par cela même donner lieu à quelques critiques, nous n'en pensons pas moins que les résultats déjà obtenus offrent un très réel intérêt.

L'attention et le soin qu'ont apportés dans ces recherches messieurs les capitaines chargés de la direction des expériences garantissent, d'ailleurs, l'exactitude des coefficients trouvés dans les limites d'une approximation très suffisante.

Il ne faut pas perdre de vue, en effet, qu'il ne s'agit pas, dans des questions de ce genre, d'arriver à des évaluations d'une très grande précision, puisque dans la pratique la rapidité des tirs, c'est-à-dire la cause même de l'échauffement, est extrêmement

variable, ainsi d'ailleurs que l'intensité du refroidissement qui est influencé par diverses circonstances, la pluie, le vent, la neige, etc.

En tous cas, les conclusions des recherches entreprises à la poudrerie d'Esquerdes sur l'échauffement du fusil font voir que cet échauffement est loin d'atteindre des limites aussi élevées que celles qu'on aurait pu supposer, avant de baser toute appréciation à cet égard sur des résultats un peu précis, obtenus dans des conditions bien déterminées. Les méthodes qui peuvent procurer de tels résultats doivent évidemment faire la part de chacun des phénomènes et de chacune des circonstances, dont dépend finalement la température développée dans les armes par le tir.

Esquerdes, le 29 juin 1893.

L'ingénieur en chef, directeur
de la poudrerie nationale d'Esquerdes,
A. BILLARDON.

EXTRAIT DES RAPPORTS

de MM. les capitaines BERTRAND, du 103e régiment de ligne, et LAROCHE, du 18e bataillon de chasseurs.

La question de la mesure de l'échauffement du canon du fusil dans le tir semble pouvoir être résolue par la méthode ci-après proposée par M. le directeur de la poudrerie d'Esquerdes.

L'inflammation d'une charge de poudre dans le canon du fusil développe une certaine quantité de chaleur qu'on peut estimer à trois calories environ pour la charge d'une cartouche du fusil modèle 1886. Une partie de cette chaleur se transforme en mouvement et imprime une certaine vitesse au projectile, une autre partie se dissipe avec les gaz de la poudre, soit à l'état libre, soit à l'état de mouvement, en raison des vitesses de ces gaz; le reste est transmis par contact au canon du fusil qui s'échauffe en conséquence.

Si aucune cause de déperdition n'intervenait, le canon s'échaufferait indéfiniment et sa température paraîtrait devoir atteindre la température des gaz de la poudre; mais il n'en est pas ainsi, comme

nous le verrons plus loin. Tant par un effet de rayonnement que par le contact de l'air extérieur, la chaleur transmise au canon du fusil se disperse elle-même dans l'atmosphère et la température du canon se limite assez rapidement.

Le problème de la détermination de la température du fusil ne présenterait d'ailleurs pas de difficultés sérieuses si l'on connaissait, d'une part, la quantité de chaleur qui se transmet au canon par le tir d'une cartouche et, d'autre part, la loi du refroidissement du canon, c'est-à-dire la quantité de chaleur communiquée à l'air extérieur dans l'unité de temps à toutes les températures.

Soient en effet a l'élévation de température qui résulterait de la quantité de chaleur communiquée au canon par le tir d'une cartouche et n le nombre de coups tirés dans l'unité de temps (la minute).

S'il n'y avait aucune déperdition, la température du fusil s'élèverait dans l'unité de temps de na et dans un temps dt de $na\,dt$.

Soit d'autre part $f(\theta)$ l'abaissement de température du fusil dans l'unité de temps, par suite des causes extérieures de refroidissement, lorsque la température du fusil est θ. Dans le temps dt cet abaissement de température serait $f(\theta)\,dt$.

En raison de ces deux causes, l'une d'échauffement et l'autre de refroidissement, la variation de température $d\theta$ du canon sera évidemment dans le temps dt

$$d\theta = an\,dt - f(\theta)\,dt \tag{1}$$

ou

$$\frac{d\theta}{an - f(\theta)} = dt,$$

d'où l'on tire, en intégrant,

$$t - t_0 = \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{an - f(\theta)}. \tag{2}$$

On remarque d'ailleurs que le coefficient a ne doit pas être constant et qu'il doit varier avec la température θ du canon du fusil.

Contrairement à ce que l'on pourrait supposer, ce coefficient ne varie pas sensiblement avec la rapidité du tir, c'est-à-dire avec le nombre n de coups tirés par minute.

Le problème serait donc complètement résolu, si l'on connaissait les quantités a et $f(\theta)$. L'expérience seule peut nous donner les indications nécessaires à cet égard.

De là deux séries de déterminations distinctes.

Loi du refroidissement du canon.

La détermination de la loi du refroidissement du canon peut se faire de la manière suivante :

On portera le fusil à une certaine température, 100° par exemple; puis, après l'avoir abandonné dans l'air, on suivra minute par minute l'abaissement de la température du canon.

Si l'on fermait le canon à ses deux extrémités, un thermomètre placé à l'intérieur pourrait fournir assez exactement la température cherchée.

On pourra encore remplir le canon d'un liquide, de mercure par exemple, et plonger un thermomètre dans ce liquide; mais il y a lieu de noter dans ce cas que la masse du mercure constitue en quelque sorte une source de chaleur qui restitue peu à peu au canon une portion de la chaleur que celui-ci perd par le refroidissement extérieur, et que la température décroît en conséquence un peu moins vite qu'il ne conviendrait.

Il ne peut y avoir là cependant qu'une cause d'erreur peu importante.

En effet, on doit estimer à $1^{kg},600$ le poids du canon du fusil et la quantité de chaleur qu'il perd, par suite d'un abaissement de sa température de 1° à $1,600 \times 0,115 = 0^{Cal},184$ ($0,115$ étant la capacité calorifique du métal du canon).

D'autre part, on a constaté qu'il faut $0^{kg},450$ de mercure pour remplir le canon jusqu'à $0^{m},20$ de la bouche.

Cette quantité ne peut perdre et transmettre au canon pour un même abaissement de température de 1° que

$$0^{kg},450 \times 0,0333 = 0^{Cal},015,$$

en raison du coefficient peu élevé $0,0333$ de la capacité calorifique du mercure. C'est-à-dire, en résumé, que le mercure ne transmet au canon que $0,08$ de la chaleur que perd ce dernier.

Les coefficients trouvés pour l'abaissement de la température du canon alors qu'il est plein de mercure seront donc inférieurs

de 0,08 de leur valeur à ceux qui correspondraient au canon vide.

Ceci posé, voici quels sont les résultats des expériences faites en emplissant le canon de mercure chauffé.

1° Expériences faites en 1892 par MM. les capitaines Franquet et Verdier.

TABLEAU I.

Canon en dessus.—Fusil horizontal.—Température de l'enceinte 18°,6.

TEMPS.	TEMPÉRATURE.	TEMPS.	TEMPÉRATURE.
m	°	m	°
0	75	40	23,5
5	60	50	22
10	49	60	21
15	40	70	20
20	35	80	19,4
30	28	90	19

De ces résultats on déduit le tableau suivant :

TABLEAU II.

DIFFÉRENCE entre la température du fusil et celle de l'enceinte. (Moyennes.)	RAPPORT de l'abaissement de la température du fusil en une minute et de la différence entre la température du fusil et celle de l'enceinte	
	constaté avec le fusil plein de 450gr de mercure.	corrigé pour le fusil vide (chiffres de la colonne précédente multipliés par 1,08).
°		
48,9	0,062	0,067
35,9	0,062	0,067
25,9	0,070	0,076
18,9	0,051	0,055
12,9	0,056	0,060
7,1	0,065	0,070
4,1	0,037	0,040
2,9	0,035	0,038
1,9	0,054	0,058
1,1	0,056	0,060
0,6	0,069	0,074
	Moyenne.....	0,060

2° Expériences faites par MM. les capitaines Bertrand et Laroche.

TABLEAU III.

Expérience du 5 mai. — Refroidissement du canon.

DEGRÉS.	TEMPS.	OBSERVATIONS.
°	m	
80	0	Canon modèle 1886. — Canon en dessus, chauffé au mercure. — Fusil horizontal.
60	5	
49	10	
41,5	15	On a noté :
31,9	25	La température au début de l'expérience, puis de 5 en 5 minutes jusqu'à ce qu'elle soit revenue à 40°; à partir de ce moment jusqu'au retour à la température extérieure on a noté seulement de 10 en 10 minutes.
27,3	35	
24,6	45	
22,4	55	
20,9	65	
20,3	75	
19,8	85	Température de la salle 19°.
19,4	95	

De ces résultats donnés par l'expérience on déduit le tableau suivant :

TABLEAU IV.

DIFFÉRENCE entre la température du fusil et celle de l'enceinte. (Moyennes.)	RAPPORT de l'abaissement de la température du fusil en une minute et de la différence entre la température du fusil et celle de l'enceinte	
	constaté avec le fusil plein de 450 gr. de mercure.	corrigé pour le fusil vide (chiffres de la colonne précédente multipliés par 1,08).
°		
51	0,078	0,0842
35,5	0,061	0,0658
26,2	0,071	0,0766
17,7	0,054	0,0583
10,6	0,043	0,0464
6,9	0,039	0,0421
4,5	0,044	0,0475
2,6	0,057	0,0615
1,6	0,037	0,0399
1,05	0,047	0,0507
0,6	0,077	0,0831
	Moyenne.....	0,0596

Les résultats de ces deux expériences sont concordants. Nous adopterons donc définitivement le chiffre de 0,060.

Ce qui permet d'établir pour la loi du refroidissement du fusil la formule

$$f(\theta) = (\theta - \tau) \times 0{,}060,$$

en appelant τ la température de l'enceinte.

Cette formule correspond d'ailleurs à la formule connue de Newton sur le refroidissement.

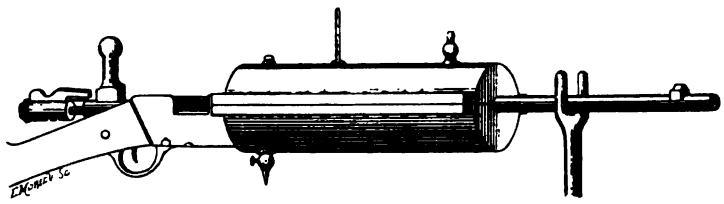
QUANTITÉ DE CHALEUR COMMUNIQUÉE AU CANON PAR LE TIR.

La quantité de chaleur communiquée au canon par le tir a été déterminée en enveloppant le canon du fusil d'un calorimètre à eau.

On a noté les élévations de température de l'eau de ce calorimètre après le tir d'un certain nombre de cartouches en faisant, d'ailleurs, varier la rapidité du tir.

L'appareil dont on s'est servi pour la première partie de ces expériences est un manchon en bronze qui enveloppe le canon du fusil depuis l'arrière jusqu'à $0^{m},30$ environ de la bouche (*fig.* 1). Il contient 2^{kg} d'eau.

Fig. 1.



Pour la dernière partie des expériences faites à une température d'environ 140°, on s'est servi d'un manchon en fonte de même forme que celui en bronze. Il contient $24^{kg},750$ de mercure et enveloppe le canon du fusil depuis l'arrière jusqu'à $0^{m},30$ environ de la bouche.

Le mercure était chauffé par quatre lampes à alcool placées sous le manchon.

On a dû remarquer que le calorimètre rayonne et perd par suite une partie de la chaleur qu'il reçoit; mais il sera facile de tenir

compte de cette cause de déperdition si l'on détermine d'abord la loi du refroidissement du calorimètre.

En admettant que le refroidissement soit proportionnel à la différence entre la température du calorimètre et celle de l'enceinte, on posera

$$-d\theta = b(\theta - \tau)\,dt.$$

En donnant aux lettres les mêmes significations que précédemment, on en tire

$$\text{l.}\left(\frac{\theta_0 - \tau}{\theta - \tau}\right) = b(t - t_0),$$

dans laquelle l. représente un logarithme népérien.

Pour passer aux logarithmes vulgaires, il faudrait écrire

$$\log\left(\frac{\theta_0 - \tau}{\theta - \tau}\right) = 0{,}4343\,b(t - t_0),$$

d'où

$$b = \frac{\log(\theta_0 - \tau) - \log(\theta - \tau)}{0{,}4343(t - t_0)}.$$

En donnant à θ, θ_0, τ et $(t - t_0)$ diverses valeurs fournies par l'expérience, on pourra facilement calculer b.

Les expériences faites en 1892 ont fourni les résultats suivants (dans toutes, la valeur de $t - t_0$ a été de 60 minutes) :

TABLEAU V.

	$\theta_0 - \tau$.	$\theta - \tau$.	b (1).
1re expérience ($t - t_0 = 60'$).....	9	5,5	0,0082
2e » »	16	8,5	0,0105
3e » »	9,5	5	0,0107
4e » »	14,5	9,5	0,0071
5e » »	8,5	4	0,0125
6e » »	16	10	0,0078
Moyenne.....			0,0095

(1) On peut noter les différences assez grandes que présentent les valeurs du coefficient b dans les différents cas où il a été déterminé. Ces différences s'expliquent simplement par l'influence du vent. Par un temps calme le coefficient b est assez faible. Dès que l'air est un peu agité, la valeur de ce coefficient peut être facilement doublée.

Dans ces expériences, le chiffre 0,0095 a été adopté comme très suffisamment approché, attendu surtout qu'il s'agit d'un nombre qui n'entre que dans un terme correctif des formules définitives.

Les expériences exécutées en 1893 sont de deux sortes :

1° Celles exécutées avec le calorimètre en bronze chauffé à l'eau chaude ;

2° Celles exécutées avec le calorimètre en fonte chauffé au mercure.

Les résultats de ces expériences pour le calcul du coefficient b du refroidissement du manchon sont indiqués dans les tableaux suivants :

TABLEAU VI.

Calcul de b (calorimètre en bronze).

N^os DES EXPÉRIENCES.	$\theta_0 - \tau$.	$\theta - \tau$.	b (1).	
1re ($t - t_0 = 60'$).....	64°,8	46°	0,0057	
2e.....	60,5	44	0,0053	Moy... 0,0058
4e.....	60,5	43	0,0058	
5e...	61,3	42	0,0064	
3e.....	72,7	35,5	0,0119	
6e.....	64	35	0,0100	
	La durée du refroidissement est toujours de 60 minutes.			

(1) On peut noter les différences assez grandes que présentent les valeurs du coefficient b dans les différents cas où il a été déterminé. Ces différences s'expliquent simplement par l'influence du vent. Par un temps calme le coefficient b est assez faible. Dès que l'air est un peu agité, la valeur de ce coefficient peut être facilement doublée.

TABLEAU VII.

Calcul de b (calorimètre en fonte).

TEMPS.	TEMPÉRATURE du manchon θ.	TEMPÉRATURE de la salle τ.	(θ − τ).	DIFFÉRENCES des températures du manchon Δθ.	MOYENNE des (θ − τ).	COEFFICIENT *b*.
			1re *Expérience.*			
0	122°,5	21°,5	101°,0			
				16°,5		
10	106	20,5	85,5		93°,2	0,0177
				15		
20	91	20	71		78,2	0,0192
				12		
30	79	20	59		65,0	0,0185
				11		
40	68	20	48		53,5	0,0205
			2e *Expérience.*			
0	150°	18°,5	131°,5			
				31°,5		
10	118,5	18,5	100,0		115°,7	0,0272
				19,5		
20	99	18	81		90,5	0,0215
				14		
30	85	18	67		74	0,0189
				11		
40	74	18	56		61,5	0,0179
				9		
50	65	18	47		51,5	0,0175
				7,5		
60	57,5	18	39,5		43,2	0,0174
			3e *Expérience.*			
0	190°	18°,5	171°,5			
				20°		
5	170	18,5	151,5		161°,5	0,0248
				17,5		
10	152,5	18	134,5		143	0,0245
				17,0		
15	135,5	18	117,5		126	0,0270
				12,5		
20	123	18	105,0		111,2	0,0225
				10,0		
25	113	17,5	95,5		100,2	0,0200
				9		
30	104	17,5	86,5		91	0,0198

D'où l'on doit conclure que, lorsque (θ − τ) dépasse 100°, *b* est variable avec la température et que dans ce cas on aurait

$$b = 0{,}000082(\theta - \tau) + 0{,}0132,$$

ce qui conduirait pour les températures (θ − τ) moyennes

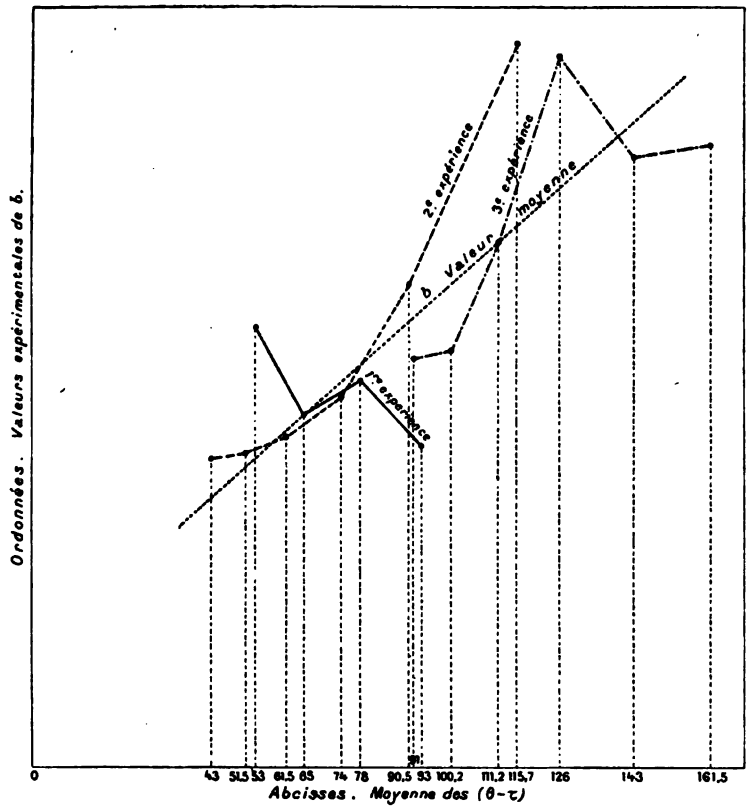
de 117,2 et 122 observées dans les tirs des poudres BF et V (ainsi qu'on le verra ci-après *fig.* 2) à

$$b = 0{,}0228 \qquad \text{et} \qquad b = 0{,}0232$$

ou environ

$$b = 0{,}023.$$

GRAPHIQUE I
indiquant les valeurs de b obtenues dans les 3 expériences et la valeur moyenne de ce coefficient.



Les coefficients de refroidissement du calorimètre étant ainsi déterminés, nous pouvons maintenant revenir à la question de l'évaluation de l'échauffement du fusil par le tir.

Le calorimètre, avons-nous dit au commencement de cette étude, recueille la chaleur du canon du fusil et en perd une partie par l'effet du refroidissement extérieur.

Il se trouve placé dans les mêmes conditions que le canon lui-même, dans les tirs ordinaires, par rapport aux gaz incandescents intérieurs et à l'air extérieur.

La température de ce calorimètre se trouvera donc exprimée par la formule (2)

$$t - t_0 = \int^{\theta} \frac{d\theta}{an - f(\theta)},$$

dans laquelle $f(\theta) = b(\theta - \tau)$, ainsi qu'il vient d'être expliqué.

En remplaçant $f(\theta)$ par sa valeur et en faisant l'intégration, il vient, en supposant provisoirement a constant,

$$b(t - t_0) = \text{l.}\left[\frac{an - b(\theta_0 - \tau)}{an - b(\theta - \tau)}\right] \qquad \text{(logarithme népérien)},$$

ou encore

$$0{,}4343\, b(t - t_0) = \log\left[\frac{an - b(\theta_0 - \tau)}{an - b(\theta - \tau)}\right] \qquad \text{(logarithme vulgaire)}.$$

Telle est la formule qui nous servira à calculer a après que nous aurons déterminé $(t - t_0)$, $(\theta - \tau)$, $(\theta_0 - \tau)$ et n par une série d'expériences et que nous aurons pris pour b les valeurs calculées précédemment.

TABLEAU VIII.

Calcul de a. (Expériences de 1892.)

N^os DES EXPÉRIENCES.	n.	$\theta_0 - \tau$.	$t - t_0$.	$\theta - \tau$.	b.	a.	MOYENNE de a.
Poudre BF.							
1re expérience.....	1	0	50′	10°	0,0095	0,2512	
3e »	2	0	25	9,5	0,0095	0,2242	0,228
5e »	5	0	10	10	0,0095	0,2096	
Poudre V.							
2e expérience.....	1	0	50	14	0,0095	0,3517	
4e »	2	0	25	14	0,0095	0,3304	0,339
6e »	5	0	10	16	0,0095	0,3352	

TABLEAU IX.

Calcul de a. (Expériences de 1893.)

N^os DES EXPÉRIENCES.	*n.*	$\theta_0 - \tau$.	$t - t_0$	$\theta - \tau$.	*b.*	*a.*	MOYENNE de *a.*
Poudre V.							
1re expérience.....	1	74°	50′	64°,8	0,0058	0,2175	
2e »	2	62,5	25	60,5	0,0058	0,2336	0,231
3e »	5	69	10	72,7	0,0119	0,2427	
Poudre B.							
4e expérience.....	1	77	50	60,5	0,058	0,1431	
5e »	2	66,5	25	61,3	0,058	0,1514	0,146
6e »	4,17	64,5	12	64	0,0100	0,1440	

Telles sont les valeurs de a obtenues à la suite des expériences avec le manchon à eau en bronze chauffé jusque vers 90°.

La variation du coefficient d'échauffement a avec la température est considérable. Il importait donc de savoir si elle se maintiendrait au delà de 100° et dans quelle mesure. C'est alors que l'on fit construire le calorimètre à mercure qui fut chauffé entre 140° et 150°. Les essais, dans ces conditions, ont été limités, en raison des difficultés qu'ils présentent, à une seule expérience pour chaque poudre. En appliquant toujours la formule

$$0,4343\,b\,(t - t_0) = \log\left[\frac{an - b\,(\theta_0 - \tau)}{an - b\,(\theta - \tau)}\right]$$

ils conduisent au tableau ci-après :

TABLEAU X.

POUDRES.	*b.*	$t - t_0$.	$\theta_0 - \tau$.	$\theta - \tau$.	*n.*	*a.*
Poudre BF.....	0,023	10′	126°,5	108°	5,00	0,017
Poudre V.....	0,023	11	124,5	119,5	4,55	0,047

Il faut donc admettre finalement que les coefficients d'échauffement pour $(\theta - \tau) = 120°$ sont :

avec la poudre BF..... 0,020 environ,
avec la poudre V..... 0,050 environ,

pour le fusil muni du manchon en fonte plein de mercure.

Il y a lieu d'ailleurs, pour comparer ces coefficients avec ceux obtenus précédemment, d'en ramener la valeur aux chiffres que l'on aurait trouvés avec le calorimètre à eau. Le calcul de la correction est facile :

La capacité calorifique de la masse comprise dans le manchon s'évalue ainsi qu'il suit :

1° *Manchon rempli de mercure.*

	Poids (P).	Capacité (C).	Produit (PC).
Portion du fusil comprise dans le manchon.....	1,560	0,110	0,1716
Enveloppe en fonte.....	7,580	0,130	0,9854
Mercure (au-dessus de 100°).	24,750	0,034	0,8415
Total.....			1,9985

2° *Manchon rempli d'eau.*

	Poids (P).	Capacité (C).	Produit (PC).
Portion du fusil comprise dans le manchon.....	1,560	0,110	0,1716
Enveloppe en bronze.....	7,250	0,093	0,6742
Eau contenue dans le manchon.	2,000	1,000	2,0000
Total.....			2,8458

Or les échauffements sont dans le rapport inverse de ces deux totaux, de telle manière, finalement, que les coefficients d'échauffement avec le manchon en bronze rempli d'eau eussent été les

$$\frac{1,9985}{2,8458} = 0,70226$$

de ceux trouvés avec le calorimètre à mercure, soit

pour $\theta - \tau = 120°$:

1° Poudre BF a_1..... 0,014
2° Poudre V a_1..... 0,035

Notons en passant, à propos de cette évaluation, et pour ne plus avoir à y revenir, que si le fusil avait été libre (sans manchon), la quantité de chaleur qui s'est répandue dans tout le calorimètre l'aurait échauffé beaucoup plus; l'échauffement aurait toujours été, par rapport à l'échauffement avec le calorimètre à eau, dans le rapport inverse des produits respectifs PC, soit dans le rapport

$$\frac{2,8458}{0,1716} = 16,6.$$

Nous pourrons donc maintenant résumer les essais sur l'échauffement produit par le tir, ainsi qu'il suit :

TABLEAU XI.

TEMPÉRATURE MOYENNE			COEFFICIENT D'ÉCHAUFFEMENT du fusil				RAPPORT de $\frac{a_2}{a_1}$.
			muni du manchon à eau a.		dans son état normal $a \times 16,6 = a'$.		
du fusil θ.	de l'enceinte τ.	Différence $\theta - \tau$.	Poudre V a_1.	Poudre BF a_2.	Poudre V a'_1.	Poudre BF a'_2.	
28°	22°	6°	0,339	0,228	5,63	3,78	0,67
84	18	66	0,231	0,146	3,83	2,42	0,63
138	18	120	0,035	0,014	0,58	0,23	0,40

En examinant les valeurs de a qui avaient été déterminées en 1892 (tableau n° VIII) et qui correspondaient à des tirs effectués en maintenant le fusil à une température peu différente de la température ordinaire, on peut voir qu'elles diffèrent sensiblement de ces mêmes valeurs de a obtenues en maintenant le fusil vers 80° et 140°, c'est-à-dire à des températures dépassant de plus de 66° et 120° celles des enceintes.

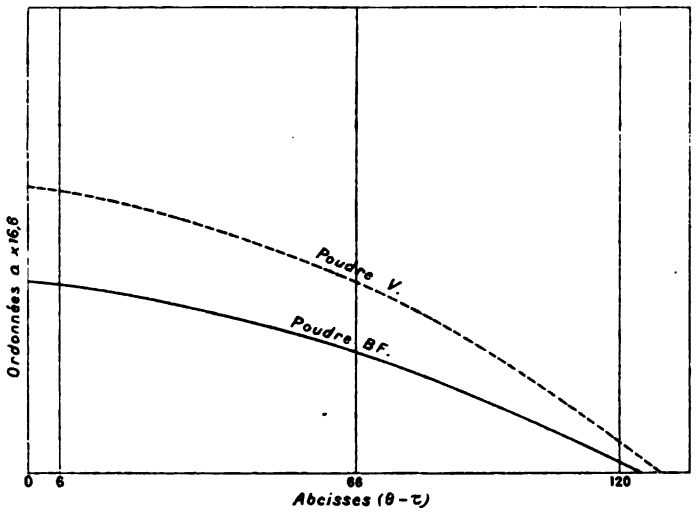
On peut être un peu étonné de la diminution rapide que subit le coefficient a quand la température $\theta - \tau$ s'élève. On sait que ce coefficient doit s'annuler pour une température qui correspondrait à celle des gaz qui échauffent l'intérieur du canon, et l'on pourrait penser, à première vue, que la température limite dont il

s'agit peut atteindre celle de la déflagration de la poudre, soit des milliers de degrés.

Mais il faut considérer que la flamme de la poudre ne fait, pour ainsi dire, que lécher pendant des instants extrêmement courts la

GRAPHIQUE II

indiquant les valeurs du coefficient $a \times 16,6$ pour les poudres BF et V.



paroi intérieure du canon (trois millièmes de seconde), et qu'à l'action de cette flamme succède celle de l'air extérieur qui rentre dans le canon après chaque coup de fusil et qui agit sur la paroi intérieure pendant un temps incomparablement plus long que la flamme, même dans les tirs les plus rapides.

Ces actions successives de la flamme des gaz et de l'air extérieur rentrant dans le canon après chaque coup se combinent en fin de compte de manière à limiter la température que peut atteindre le canon à un chiffre relativement assez faible.

D'après les renseignements donnés verbalement à l'école normale de tir aux capitaines d'infanterie qui y sont détachés, la température du canon du fusil français ne s'élèverait plus que d'une façon insensible par le tir le plus rapide lorsqu'elle atteint 350°.

Dans les mêmes conditions, le fusil allemand muni de son enve-

loppe isolante atteindrait la température du rouge sombre ou de 700°.

Mais ces faits nous semblent mal établis.

Il ne nous paraît pas possible, comme cela résulte à première vue de l'examen du tableau X, que la température du canon puisse s'élever à plus de 120 à 130° au-dessus de la température ambiante même en quelques points particuliers du canon. Dès qu'on arrive d'ailleurs à ces températures le mécanisme du fusil fonctionne mal, les extractions de cartouches sont fort difficiles, sinon impossibles, et la rapidité du tir se trouve forcément ralentie.

L'expérience faite avec le manchon en fonte rempli de mercure chauffé à 140° a permis de faire les observations suivantes :

Les pressions développées devaient être considérables, car tous les étuis présentaient des dégradations assez sérieuses (boursouflements et déchirures); de plus, après chaque coup tiré, l'étui était fortement adhérent aux parois du canon et devait être chassé à l'aide d'une baguette.

Les vitesses étaient également considérables; le tir, quoique sur appui, n'avait plus aucune justesse et les balles ne frappaient pas toutes les plaques de chronographe sur lesquelles l'arme était pointée. Il se produisait de nombreux coups anormaux, résultant probablement de la déformation des projectiles (ruptures d'enveloppe, fusion du noyau de plomb). Enfin la détonation des cartouches produisait un bruit très violent.

Les vitesses n'ont pu être prises au chronographe par suite de la rapidité du tir et des difficultés d'exécution d'expériences faites à une température aussi élevée.

L'ensemble de ces faits prouve bien cependant qu'il n'est pas admissible que la température du canon puisse s'élever au delà de 150° environ.

Ces conclusions, en ce qui concerne la limite de la température du canon, ressortiront de l'examen des formules précédemment établies lorsqu'on y aura introduit les coefficients déterminés par l'expérience.

Nous admettrons que le coefficient a qui est variable avec la température s'exprime au moyen d'une formule telle que

$$a = c[T - (\theta - \tau)](\theta - \tau + d), \tag{3}$$

dans laquelle c et d sont des coefficients propres à chaque poudre, T est la limite de l'échauffement que peut atteindre le fusil.

Les résultats du tableau n° XI permettent de calculer c, d et T et l'on obtient alors

$$(4)\quad 1^{\circ}\ \text{Poudre V}..\quad a_1=\frac{0,000201}{16,6}[130-(\theta-\tau)][(\theta-\tau)+225]$$

$$(5)\quad 2^{\circ}\ \text{Poudre BF}.\quad a_2=\frac{0,000109}{16.6}[125-(\theta-\tau)][(\theta-\tau)+295].$$

D'où il résulte que la limite théorique de l'échauffement du canon serait de 130° pour la poudre V et de 125° pour la poudre BF : ces élévations de température étant, bien entendu, comptées au-dessus de la température ambiante de l'air, de telle sorte que dans une atmosphère à 20° la température du canon pourrait s'élever jusqu'à 150° ou 145°, suivant que l'on se sert de l'une ou de l'autre des poudres.

Au moyen des formules (4) et (5) on peut poursuivre les calculs.

Nous transformerons d'abord ces relations qui s'appliquent au usil muni du manchon pour obtenir des formules propres au fusil sans manchon.

Il suffit de multiplier les coefficients par 16,6 ainsi qu'il a été expliqué plus haut et l'on obtient alors

$$\text{Poudre V}....\quad a'_1=0,000201[130-(\theta-\tau)][(\theta-\tau)+225]$$
$$\text{Poudre BF}..\quad a'_2=0,000109[125-(\theta-\tau)][(\theta-\tau)+295].$$

Par suite, la formule générale de l'échauffement du fusil

$$(2)\qquad t-t_0=\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{d\theta}{a'n-f\theta}$$

deviendra

$$t-t_0=\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{d\theta}{nc[T-(\theta-\tau)][(\theta-\tau)+d]-0,060(\theta-\tau)}$$

ou

$$(6)\quad nc(t-t_0)=\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{d\theta}{-(\theta-\tau)^2-\left(d+\frac{0,060}{nc}-T\right)(\theta-\tau)+Td}$$

avec

	c.	T.	d.
Poudre V.....	0,000201	130	225
Poudre BF....	0,000109	125	295

Si l'on considère l'équation

$$(\theta-\tau)^2+\left(d+\frac{0,060}{nc}-T\right)(\theta-\tau)-Td=0,$$

on en tire deux racines

$$(7)\quad A=-\frac{1}{2}\left(d+\frac{0,060}{nc}-T\right)+\frac{1}{2}\sqrt{\left(d+\frac{0,060}{nc}-T\right)^2+4Td}$$

$$(8)\quad B=-\frac{1}{2}\left(d+\frac{0,060}{nc}-T\right)-\frac{1}{2}\sqrt{\left(d+\frac{0,060}{nc}-T\right)^2+4Td}$$

et la relation (6) deviendra

$$nc(t-t_0)=\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{d\theta}{[A-(\theta-\tau)][(\theta-\tau)-B]}$$
$$=\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{1}{A-B}\left[\frac{d\theta}{A-(\theta-\tau)}+\frac{d\theta}{(\theta-\tau)-B}\right]$$

dont l'intégration donne

$$(9)\quad 0,4343(A-B)nc(t-t_0)=\log\left\{\frac{[(\theta-\tau)-B][A-(\theta_0-\tau)]}{[(\theta_0-\tau)-B][A-(\theta-\tau)]}\right\},$$

expression dans laquelle log indique un logarithme vulgaire.

Telle est la formule définitive à laquelle nous conduisent nos expériences.

Dans chaque cas particulier, correspondant, à une poudre donnée pour laquelle c, T et d ont des valeurs déterminées par l'expérience, et à un nombre par minute n de coups de fusil tirés pendant un temps $(t-t_0)$, il sera facile de calculer au moyen de cette formule (9) l'échauffement $(\theta-\tau)$ du fusil à la fin du tir, soit au bout du temps $(t-t_0)$, étant donné que l'on connaît l'échauffement initial $(\theta_0-\tau)$ qui généralement peut être considéré comme nul $(\theta_0-\tau=0)$.

Les tableaux ci-après donnent des exemples de ces calculs :

Accroissement de la température du fusil modèle 1886 après un temps $t - t_0$) donné et pour des tirs d'une rapidité variable mesurée par le nombre n de coups de fusil tirés par minute.

TABLEAU XII.

Poudre BF.

NOMBRE de coups tirés par minute.	(A).	(— B).	ECHAUFFEMENT DU CANON APRÈS :				
			5m.	10m.	20m.	30m.	Limite
1	48,0	768,4	16°,6	27°,6	39°,5	44°,5	48°,0
2	71,4	516,6	31,5	49,7	66,9	70,0	71,4
5	97,6	377,7	66,2	88,6	96,9	97,5	97,6
10	110,0	335,0	97,4	108,9	110,0	110,0	110,0

TABLEAU XIII.

Poudre V.

NOMBRE de coups tirés par minute	(A).	(— B).	ÉCHAUFFEMENT DU CANON APRÈS :				
			5m.	10m.	20m.	30m.	Limite.
1	63,4	460,9	23°,9	39°,4	54°,8	60°,4	63°,4
2	88,0	332,2	45,0	68,4	84,2	87,3	88,0
5	110,3	265,0	88,0	106,7	110,2	110,3	110,3
10	119,6	244,4	115,1	119,5	119,6	119,6	119,6

NOTA. — Les températures données dans les tableaux ci-dessus ne sont, bien entendu, que des moyennes. Certaines parties du canon peuvent s'échauffer beaucoup plus, notamment les parties où se trouvent des garnitures et où le refroidissement extérieur ne se produit que dans une proportion restreinte. Le refroidissement produit par le vent, la pluie ou l'agitation du canon peut, d'autre part, abaisser sensiblement ces moyennes qui sont établies pour un canon immobile et maintenu dans un espace clos et abrité.

Esquerdes, le 11 juin 1893.

SUR LES

VIBRATIONS ÉLASTIQUES DES CANONS

(DEUXIÈME NOTE),

PAR

M. ROGER LIOUVILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

INTRODUCTION.

Dans une première note (*Mémorial des poudres et salpêtres*, t. VI, p. 146), je me suis occupé de rechercher quelles seraient les vibrations d'un tube cylindrique en acier, de diamètre intérieur égal à $0^m,10$ et d'épaisseur égale à son calibre, sous l'action des forces suivantes :

1° Une pression intérieure, constante, brusquement appliquée, égale à 2000^{kg} par centimètre carré;

2° Une pression extérieure nulle;

3° Une tension, appliquée en chacune des faces planes extrêmes, uniformément répartie sur la surface de la tranche et d'ailleurs équivalente à la pression totale, résultant de 2000^{kg} par centimètre carré appliqués sur un cercle du diamètre de $0^m,10$.

Comme conséquence des résultats trouvés, j'énonçais cette conclusion, au moins comme probable : c'est que, si l'on désigne par τ_0 la demi-période du son fondamental, on s'écarte peu de la vérité en appliquant à cette valeur de τ_0 le principe expérimentalement établi par M. Vieille pour des ressorts vibrants de diverses natures.

D'après ce principe, si τ représente la durée du développement de la pression maximum et que $\frac{\tau}{\tau_0}$ soit supérieur à $\frac{1}{4}$, le fonctionnement sans vibrations est pratiquement assuré.

Les conclusions précédentes étaient, je l'ai dit, seulement vraisemblables, car aucune expérience n'est possible sur des systèmes élastiques aussi compliqués que les canons et, de plus, une incertitude véritable se présente pour le choix de la quantité qui doit être remplacée par τ_0 dans le rapport considéré par M. Vieille.

Afin d'éclaircir cette question, je me suis proposé, dans ce qui va suivre, d'étudier l'effet d'une pression uniforme variable, à l'intérieur du tube cylindrique auquel se rapportait mon premier travail.

Je supposerai toujours la pression extérieure négligeable, les tensions appliquées aux faces extrêmes proportionnelles, à chaque instant, à la pression intérieure et le rapport de ces deux forces sera déterminé comme dans la Note déjà rappelée, relative au cas des pressions constantes.

Les résultats obtenus dans le présent travail obligent à préciser, plus que cela n'avait été fait jusqu'ici, ce que l'on peut entendre par *fonctionnement statique* d'un système élastique, soumis à des pressions variables.

Sous l'action de la pression considérée, le déplacement maximum, dans la direction du rayon du cylindre, se trouve être voisin de 23 centièmes de millimètre, tandis que le même tube se mettrait en équilibre sous une pression constante, égale au maximum de la pression appliquée, avec un déplacement radial à peine supérieur à 12 centièmes de millimètre.

Toutefois, il y a lieu de distinguer, dans ces 23 centièmes de millimètre, trois parties bien différentes :

La première s'élève à 6 centièmes environ; c'est un déplacement, après lequel le tube resterait en équilibre sous une pression constante égale à la moyenne des valeurs de la pression variable réellement appliquée, c'est-à-dire égale à la moitié du maximum de cette dernière (qui est sensiblement représentée par une loi périodique simple).

La seconde partie est de 14 centièmes de millimètre; elle provient d'une vibration, correspondant à la partie périodique pure

de la pression appliquée, ayant d'ailleurs pour période le quadruple du temps nécessaire au développement de la pression maximum; elle s'accompagne des vibrations propres au système élastique étudié, mais elle n'est pas, elle-même, l'une des vibrations capables de subsister après que les pressions à l'intérieur du tube ont disparu ou bien sont devenues à peu près constantes.

Enfin, une troisième partie, 3 centièmes de millimètre seulement, provient des vibrations propres du canon.

On voit que cette dernière est d'une faible importance, relativement aux deux autres; c'est uniquement cela qu'il faut entendre, lorsque l'on dit que le fonctionnement statique est pratiquement assuré.

Il n'en reste pas moins établi que, sous l'action des forces que j'ai considérées, le déplacement élastique suivant le rayon du cylindre est très supérieur à celui qui suffirait à mettre le système en équilibre sous une pression constante, égale à la plus grande des valeurs atteintes par la pression réellement appliquée. C'est là un point que l'étude contenue dans un tome précédent du *Mémorial des poudres* ne pouvait nullement mettre en évidence. Si, malgré des déformations élastiques aussi notables, les canons actuels paraissent présenter une résistance suffisante, cela semble pouvoir être attribué aux deux circonstances suivantes :

1° L'effet du frettage doit être de modifier sensiblement les résultats précédents;

2° Les pressions décroissent dès que le maximum est dépassé et deviennent ensuite presque constantes; les seules vibrations compatibles avec ces nouvelles conditions sont celles qui dépendent des périodes propres du canon; leur amplitude est, comme on l'a vu, d'une faible importance.

Afin de parvenir rapidement aux calculs numériques, que j'avais en vue de faire au moins pour un exemple, j'ai dû laisser de côté, dans ces recherches encore très incomplètes, certains points de pure analyse, qui n'étaient pas indispensables à mon objet et sur lesquels j'espère avoir l'occasion de revenir; je n'ai pas non plus abordé l'étude la plus intéressante, celle des tubes cylindriques frettés, qui pourra faire le sujet d'un prochain travail.

ANALYSE.

Pour fixer les idées, je considérerai une pression obtenue avec de la poudre dite BC. La loi d'après laquelle cette pression varie en fonction du temps a été empruntée à l'un des tracés obtenus par M. Vieille; on peut la représenter, avec une approximation très suffisante, par la formule

$$P_0 = 10^7 . 2{,}097 \sin^2(770{,}5\, t)$$

ou, si l'on veut,

$$P_0 = 10^7 . 1{,}0485\,[1 - \cos(1541\, t)]. \tag{1}$$

Ces pressions sont celles de la table manométrique; celles qui leur correspondraient, dans la table usuelle, sont de 15 pour 100 plus fortes.

La méthode que je vais indiquer, pour calculer le mouvement qui prend naissance dans l'une des faces extrêmes du tube dont il s'agit, ne pourrait convenir, sans discussion nouvelle, si P_0 était donnée par une fonction quelconque du temps, mais elle conviendra, en général, pourvu que l'on puisse représenter cette pression par une somme de cette forme

$$P_0 = \sum_{(n)} a_n (1 - \cos \alpha_n t),$$

le nombre des termes dans la relation précédente étant un nombre fini.

Il est d'abord bien entendu que, dans l'exemple qui va être ici traité, on ne considère aucune valeur de t, notablement plus grande que celle qui répond au maximum de P_0; la formule de représentation choisie cesserait, pour de telles valeurs, de donner les valeurs vraies de la pression mesurée.

J'ai fait le calcul en me servant des constantes, déjà calculées dans une Note antérieure, pour un tube du calibre de $0^m,10$. Ces remarques faites, voici comment on peut étudier le problème proposé.

Soit, dans le cas actuel,

$$P_0 = a (1 - \cos \alpha t), \tag{2}$$

de sorte que

$$a = 10^7 . 1{,}0485,$$
$$\alpha = 1541.$$

Je chercherai d'abord les fonctions φ telles que

$$\varepsilon = \frac{\partial \overset{1}{\varphi}}{\partial r}, \qquad w = \frac{\partial \overset{1}{\varphi}}{\partial z},$$

ε, w, φ conservant les significations que ces lettres avaient dans la Note précédente.

Nous considérons chacune des fonctions φ, qui doivent donner l'un des mouvements possibles lorsqu'on fait abstraction pour un instant des conditions initiales, comme la somme de deux fonctions

$$f, \psi,$$

déterminées comme je vais l'indiquer.

$\overset{1}{\psi}$ désignera ce que deviendrait φ, si le terme $-a\cos\alpha t$ n'existait pas dans l'expression de P_0 et, par suite, dans celle de F; cette fonction correspondra donc à un déplacement exécuté sous une pression constante a.

D'après une théorie déjà exposée, cette fonction $\overset{1}{\psi}$ peut être obtenue sans difficulté.

Pour $z = \pm z_0$, on peut représenter la valeur correspondante de ε par la formule

$$(3) \qquad \varepsilon = \varepsilon_0 + \sum_{(n)} c_n \left[\mathrm{I}'\left(\beta_n \frac{r}{r_0}\right) + \gamma_n \mathrm{Y}'\left(\frac{\beta_n r}{r_0}\right) \right] \cos k_n t = \frac{\partial \overset{1}{\psi}}{\partial r};$$

les constantes c_n sont encore arbitraires, car elles sont déterminées uniquement par les conditions initiales; les constantes β_n, γ_n, k_n sont au contraire faciles à calculer et nous avons donné ailleurs des moyens pour effectuer ce calcul; enfin ε_0 est la valeur de l'allongement radial qui correspondrait à l'équilibre sous une pression intérieure a, les tensions F aux extrémités du tube prenant la valeur constante qui correspond à a et la pression extérieure P_1 étant nulle à chaque instant et en chaque point.

Quant à f, voici comment on peut l'obtenir quand α n'est égale à aucune des quantités k_n. Si cette condition n'était pas satisfaite, le moyen qui va être employé cesserait d'être applicable et la ques-

tion présenterait des complications spéciales, sur lesquelles je n'insiste pas en ce moment, cette discussion n'ayant que peu d'intérêt pour la pratique.

La fonction f est définie, d'après ce qui précède, de la manière suivante :

1° Elle vérifie, pour toute valeur de t, pour toutes les valeurs de r supérieures à r_0 et inférieures à r_1, enfin pour toutes les valeurs de z comprises entre $-z_0$ et $+z_0$, l'opération aux dérivées partielles

$$\frac{\partial^2 f}{\partial r^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial r}-\frac{\rho}{\lambda+2\mu}\frac{\partial^2 f}{\partial t^2}=0, \tag{4}$$

λ et μ désignant les coefficients d'élasticité, ρ la densité du métal ;

2° Pour $r=r_0$,

$$(\lambda+2\mu)\frac{\partial^2 f}{\partial r^2}+\frac{\lambda}{r}\frac{\partial f}{\partial r}+\frac{\lambda\,\partial^2 f}{\partial z^2}=a\cos\alpha t, \qquad \frac{\partial^2 f}{\partial r\,\partial z}=0; \tag{5}$$

Pour $r=r_1$,

$$(\lambda+2\mu)\frac{\partial^2 f}{\partial r^2}+\frac{\lambda}{r}\frac{\partial f}{\partial r}+\frac{\lambda\,\partial^2 f}{\partial z^2}=0, \qquad \frac{\partial^2 f}{\partial r\,\partial z}=0; \tag{6}$$

3° Les conditions relatives aux extrémités $z=\pm z_0$; voici comment elles s'établissent :

J'ai dit que les tractions F, appliquées aux extrémités du tube sont proportionnelles à P_0 ; on peut donc les représenter par la formule

$$F=b(1-\cos\alpha t), \tag{7}$$

le rapport $b:a$ ayant une valeur donnée, qui ne dépend que des dimensions du tube métallique. Les conditions que nous avons en vue peuvent alors s'exprimer ainsi :

Pour $z=\pm z_0$,

$$\lambda\left(\frac{\partial^2 f}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial r}\right)+(\lambda+2\mu)\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}=-b\cos\alpha t, \tag{8}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial r\,\partial z}=0. \tag{9}$$

Dans le cas particulier auquel j'appliquerai d'abord les considé-

rations précédentes, on devra prendre

$$\log a = 7{,}02056, \qquad \log b = 6{,}11747, \qquad \log \alpha = 3{,}18780,$$

avec

$$\lambda = 2\mu, \qquad \log(\lambda + 2\mu) = 10{,}29151, \qquad \log \rho = 2{,}90244.$$

Je poserai

$$f = \mathrm{H}\cos\alpha t, \tag{10}$$

de sorte que

$$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = -\alpha^2 f;$$

par suite, l'équation (4) devient

$$\frac{\partial^2 \mathrm{H}}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \mathrm{H}}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \mathrm{H}}{\partial r} + \frac{\rho}{\lambda + 2\mu}\alpha^2 \mathrm{H} = 0. \tag{11}$$

En traitant de même la relation (8), de laquelle j'éliminerai $\frac{\partial^2 \mathrm{H}}{\partial z^2}$ à l'aide de l'équation précédente, je trouve

$$2\mu\left(\frac{\partial^2 \mathrm{H}}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \mathrm{H}}{\partial r}\right) + \alpha^2 \rho . \mathrm{H} = + b. \tag{12}$$

Soit donc

$$\mathrm{H} = \frac{b}{\alpha^2 \rho} + \mathrm{H}'\left(\frac{\alpha r}{\sqrt{\frac{2\mu}{\rho}}}\right); \tag{13}$$

la fonction H′ de la variable

$$\mathrm{R} = \frac{\alpha r}{\sqrt{\frac{2\mu}{\rho}}}$$

est définie par l'équation différentielle

$$\frac{\partial^2 \mathrm{H}'}{\partial \mathrm{R}^2} + \frac{1}{\mathrm{R}}\frac{\partial \mathrm{H}'}{\partial \mathrm{R}} + \mathrm{H}' = 0,$$

quand on suppose $z = z_0$.

En conservant donc les notations, déjà employées dans un premier travail, pour désigner les fonctions de Bessel, de première et de deuxième espèce, d'indice zéro,

$$\mathrm{H}' = \mathrm{C}'_1 \mathrm{I}(\mathrm{R}) + \mathrm{C}'_2 \mathrm{Y}(\mathrm{R}),$$

de sorte que

$$(14)\qquad H=\frac{b}{\alpha^2\rho}+C'_1\,I\left(\frac{\alpha r}{\sqrt{\frac{2\mu}{\rho}}}\right)+C'_2\,Y\left(\frac{\alpha r}{\sqrt{\frac{2\mu}{\rho}}}\right).$$

Si je représente encore par I′, Y′ les dérivées $\frac{\partial I}{\partial R}$, $\frac{\partial Y}{\partial R}$, les conditions (5) et (6) se traduisent ainsi :

$$(15)\qquad \begin{cases} \frac{1}{R}\left[C'_1\,I'(R)+C'_2\,Y'(R)\right]+\frac{2(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu}\left[C'_1\,I(R)+C'_2\,Y(R)\right] \\ \qquad =-\frac{\lambda b+a(\lambda+2\mu)}{\alpha^2\rho(\lambda+2\mu)} \end{cases}$$

pour $r=r_0$,

$$(16)\qquad \begin{cases} \frac{1}{R}\left[C'_1\,I'(R)+C'_2\,Y'(R)\right]+\frac{2(\lambda+\mu)}{\lambda+2\mu}\left[C'_1\,I(R)+C'_2\,Y(R)\right] \\ \qquad =-\frac{\lambda b}{\alpha^2\rho(\lambda+2\mu)} \end{cases}$$

pour $r=r_1$.

Ces deux relations déterminent les constantes C'_1, C'_2 encore arbitraires.

En adoptant les valeurs indiquées pour λ, μ, a, b, α et ρ, j'ai trouvé les valeurs de C'_1, C'_2 dont voici les logarithmes :

$$(17)\qquad \log C'_1=\bar{5},53191,\qquad \log(-C'_2)=\bar{6},17884.$$

A l'aide de ces valeurs, je puis calculer l'expression

$$C'_1\,I(R)+C'_2\,Y'(R)$$

pour les différentes valeurs de R, notamment pour celles qui correspondent à

$$r=r_0,\qquad r=\frac{r_0+r_1}{2},\qquad r=r_1;$$

en procédant de la même manière pour la fonction

$$Ar+\frac{B}{r},$$

et posant $r_2 = \frac{r_0 + r_1}{2}$, je trouve

$$(18)\qquad \begin{cases} A r_0 + \dfrac{B}{r_0} + C_1' I'(R_0) + C_2' Y'(R_0) = -\dfrac{7,894}{10^5}, \\ A r_2 + \dfrac{B}{r_2} + C_1' I'(R_2) + C_2' Y'(R_2) = -\dfrac{6,0581}{10^5}, \\ A r_1 + \dfrac{B}{r_1} + C_1' I'(R_1) + C_2' Y'(R_1) = -\dfrac{3,215}{10^5}. \end{cases}$$

En exprimant de plus que, pour $t = 0$, $\varepsilon = 0$, r prenant les valeurs r_0, r_2, r_1, je détermine les coefficients C_1, C_2, C_3; j'obtiens ainsi d'abord les relations

$$(19)\qquad \begin{cases} \log \alpha_1 = \log[Y'(0,52) - 7 \quad I'(0,52)] = 0,85952, \\ \log \beta_1 = \log[Y'(1,2) \quad -4,4 I'(1,2) \;] = 0,71787, \\ \log \gamma_1 = \log[Y'(3,22) + 1,6 I'(3,22)] = \bar{1},28923; \end{cases}$$

puis,

$$(20)\qquad \begin{cases} \log \alpha_2 = \log[Y'(1,04) - 7 \quad I'(1,04)] = 0,71776, \\ \log \beta_2 = \log[Y'(2,4) \quad -4,4 I'(2,4) \;] = 0,32178, \\ \log \gamma_2 = \log[Y'(6,44) + 1,6 I'(6,44)] = 0,04770; \end{cases}$$

enfin

$$(21)\qquad \begin{cases} \log \alpha_3 = \log \quad [Y'(1,56) - 7 \quad I'(1,56)] \;\; = 0,71167, \\ \log \beta_3 = \log \quad [Y'(3,6) \quad -4,4 I'(3,6) \;] \;\; = 0,17725, \\ \log \gamma_3 = \log \{ -[Y'(9,66) + 1,6 I'(9,66)] \} = \bar{1},95750. \end{cases}$$

Je désigne par λ_1, λ_2, λ_3 les seconds membres des équations (18), changés de signe, de sorte que

$$(22)\qquad \begin{cases} \log \lambda_1 = \bar{5},89730, \\ \log \lambda_2 = \bar{5},78240, \\ \log \lambda_3 = \bar{5},50718, \end{cases}$$

et l'on a

$$\begin{aligned} \alpha_1 C_1 + \beta_1 C_2 + \gamma_1 C_3 &= \lambda_1, \\ \alpha_2 C_1 + \beta_2 C_2 + \gamma_2 C_3 &= \lambda_2, \\ \alpha_3 C_1 + \beta_3 C_2 + \gamma_3 C_3 &= \lambda_3, \end{aligned}$$

c'est-à-dire

$$\begin{aligned} \Delta C_1 &= A_1 \lambda_1 + A_2 \lambda_2 + A_3 \lambda_3, \\ \Delta C_2 &= B_1 \lambda_1 + B_2 \lambda_2 + B_3 \lambda_3, \\ \Delta C_3 &= \Gamma_1 \lambda_1 + \Gamma_2 \lambda_2 + \Gamma_3 \lambda_3, \end{aligned}$$

avec

$$\log\Delta = 1,44996,$$

$$(23)\quad \begin{cases} \log(-A_1) = 0,55399, & \log A_2 = 0,70141, & \log A_3 = 0,73303, \\ \log B_1 = 1,02038, & \log(-B_2) = 0,87875, & \log(-B_3) = 0,84882, \\ \log(-\Gamma_1) = \bar{1},81791, & \log \Gamma_2 = 0,55255, & \log(-\Gamma_3) = 0,43063. \end{cases}$$

Ceci conduit aux valeurs suivantes de C_1, C_2, C_3,

$$(24)\quad \log C_1 = \bar{6},84195, \qquad \log C_2 = \bar{6},70247, \qquad \log C_3 = \bar{5},09199.$$

Comme conséquence,

$$(25)\quad \begin{cases} \log C_1[Y'(0,52) - 7\ I'(0,52)] = \bar{5},70147, \\ \log C_2[Y'(1,2) - 4,4I'(1,2)] = \bar{5},42034, \\ \log\{-C_3[Y'(3,22) + 1,6I'(3,22)]\} = \bar{6},38122; \end{cases}$$

mais

$$(26)\quad \begin{cases} Ar + \dfrac{B}{r_0} = \dfrac{6,1963}{10^5}, \\ C_1' I(R_0) + C_2' Y'(R_0) = -\dfrac{14,0903}{10^5}. \end{cases}$$

Si donc on considère un point appartenant à l'une des tranches extrêmes et à la surface intérieure du cylindre, ($r = r_0$, $z = z_0$), le mouvement y est représenté à l'instant quelconque t, dans la direction du rayon du cylindre, par la formule approchée

$$(27)\quad \varepsilon = \frac{1}{10^5}\cdot 6,1963 + L\cos\alpha t + L_1\cos\frac{2\pi t}{T_1} + L_2\cos\frac{2\pi t}{T_2} + L_3\cos\frac{2\pi t}{T_3},$$

en supposant

$$\log(-L) = \bar{4},14892, \qquad \log L_1 = \bar{5},70147,$$
$$\log L_2 = \bar{5},42034, \qquad \log(-L_3) = \bar{6},38122.$$

Il reste à chercher quelle est la plus grande valeur de ε. Elle se présente, lorsque t prend une valeur voisine de

$$0'',001937$$

et l'on a alors

$$\varepsilon = \frac{23,132}{10^5};$$

on voit que le déplacement radial maximum est voisin du double de celui que produirait, aux mêmes points du cylindre, la même

pression appliquée statiquement. Ce dernier est, en effet,

$$\eta = \frac{2 \times 6,1963}{10^5},$$

soit

$$\frac{12,3926}{10^5}.$$

Par suite,

$$\frac{\varepsilon}{\eta} = 1,8666.$$

Si l'on voulait comparer la valeur de ε à celle qui répond à une pression égale, brusquement appliquée, on sait que le rapport de cette dernière, η', à η est environ

$$3,6678$$

d'après un travail antérieur; on a donc

$$\frac{\varepsilon}{\eta'} = 0,5089.$$

Ainsi le déplacement radial produit, à l'une des extrémités du cylindre et à sa surface intérieure, par la pression variable que représente la formule (2), est intermédiaire entre celui que produirait une pression constante, brusquement appliquée, égale au maximum de la pression (2) et celui qui équilibrerait cette même pression constante, appliquée statiquement. Le déplacement réel est à peu près également éloigné des deux limites, inférieure et supérieure, qui lui sont ainsi assignées.

Paris, 2 août 1893.

ÉTUDE

SUR LE

MODE DE COMBUSTION DES MATIÈRES EXPLOSIVES,

PAR

M. VIEILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

AVANT-PROPOS.

I.

Les recherches qui font l'objet de cette étude ont été entreprises il y a environ dix ans, et la plupart des résultats qui y sont réunis ont été acquis dans les années 1884 et 1885.

Ce sont les données nouvelles ainsi obtenues, sur les modes variables de combustion des matières explosives suivant les conditions de leur agglomération, qui nous ont conduit aux procédés de fabrication des poudres nouvelles de l'armement.

Aujourd'hui, des procédés similaires sont universellement en usage, et les études détournées qui en ont été l'origine peuvent présenter un intérêt médiocre pour le lecteur, plus désireux de connaître le résultat simple final que les méthodes de recherche, toujours compliquées.

Il nous a paru, toutefois, utile de montrer l'importance d'un genre d'expériences qui paraît peu répandu jusqu'à ce jour.

Entre la fabrication proprement dite des explosifs, c'est-à-dire leur production industrielle et leur utilisation dans les armes de guerre, c'est-à-dire la constatation de leurs effets balistiques, il paraît indispensable de faire une place à ce qu'on pourrait appeler l'étude physiologique des explosifs, études de laboratoire dans

lesquelles leur mode de fonctionnement intime peut être analysé sans polygone, à l'aide d'appareils simples dont le maniement est silencieux, inoffensif pour le voisinage, sinon d'une façon absolue pour l'opérateur.

II.

Les bouches à feu modernes présentent, par rapport aux pièces de même calibre de l'ancienne artillerie, une supériorité de puissance considérable, qui a été obtenue par l'emploi de poudres lentes dont la combustion s'effectue progressivement pendant le déplacement du projectile, de telle sorte que l'arme ne soit soumise qu'à des pressions modérées. La solution de toutes les questions de balistique intérieure est, par suite, liée à la connaissance des lois de combustion des matières explosives.

Ces lois sont encore imparfaitement connues et aucune mesure *directe* portant sur le mode de combustion de matières soumises à des pressions de plusieurs milliers d'atmosphères n'a été encore entreprise, à notre connaissance.

Les premières recherches relatives au mode de combustion des poudres sont dues à Piobert, qui a cherché à ramener la prévision des effets des poudres dans les armes à la détermination d'une donnée expérimentale facile à obtenir directement, la vitesse de combustion des poudres à l'air libre.

Il a admis que, pour les matières habituellement employées à la fabrication des poudres, la combustion par couches concentriques, que l'on observe à l'air libre, subsistait dans la bouche à feu. Il a conclu également d'expériences forcément grossières, étant donnés les moyens d'investigation de cette époque, que la pression n'influait pas sur la vitesse de combustion des poudres usuelles.

Cette dernière hypothèse a été reconnue inexacte : les expériences de Frankland et de Saint-Robert, sur les durées de combustion de fusées sous des pressions inférieures à la pression atmosphérique, ont montré que la vitesse de combustion croît comme la puissance $\frac{2}{3}$ de la pression entre les limites de pression de 760^{mm} et 400^{mm} de mercure.

Dans d'autres expériences, portant également sur la durée de combustion des fusées de guerre, le capitaine Rovel a trouvé que, pour des pressions de 16 atmosphères, la vitesse de combustion

de la matière fusante est environ double de ce qu'elle est à l'air libre. Cette donnée conduirait à admettre que la vitesse de combustion croît comme la puissance $\frac{1}{4}$ de la pression.

D'autre part, le colonel Castan, discutant les conditions de fonctionnement des poudres employées dans le tir des bouches à feu de la Marine, a été conduit à penser que, pour les plus fortes pressions réalisées dans ces armes, soit 2500 kilogrammes environ, la vitesse de combustion est au moins 100 fois plus forte qu'à l'air libre. On en déduit que la vitesse de combustion croîtrait, au minimum, comme la puissance $\frac{6}{10}$ de la pression.

Dans une étude plus récente, sur les effets de la poudre dans un canon de 10 centimètres, le général Sebert et le capitaine Hugoniot sont arrivés à la conclusion que la vitesse de combustion était proportionnelle à la pression. Cette donnée a été également adoptée par le commandant Moisson, dans sa théorie des explosions, dans les canons et les torpilles.

Enfin M. Sarrau, dans ses formules classiques de balistique intérieure, admet que la vitesse de combustion des poudres varie comme la racine carrée de la pression.

En résumé, les opinions les plus diverses sont actuellement en présence, et l'exposant de la puissance de la pression dont dépend la vitesse de combustion est variable, suivant les auteurs, de $\frac{1}{4}$ à 1.

Quant à la *seconde* hypothèse de Piobert, relative au mode de combustion des poudres par couches concentriques, elle a été admise jusqu'à ce jour par tous les auteurs, au moins pour les poudres de fabrication moderne dont la densité est supérieure à 1800. Elle a formé la base de la théorie des poudres à gros grains et des poudres prismatiques à canal central.

M. Sarrau a toutefois signalé que la proportionnalité des durées de combustion et des épaisseurs, qui en serait la conséquence nécessaire, n'était pas réalisée dans les conditions de fabrication actuelle des poudres noires et que les résultats balistiques observés conduisaient à introduire dans les formules l'épaisseur sous l'exposant $\frac{1}{2}$.

Cette loi empirique, qui donne aux formules une précision remarquable, conduit donc à considérer comme également inexacte

l'hypothèse de Piobert, relative au mode de combustion par tranches parallèles.

Nous nous sommes proposé de reprendre, suivant la méthode de Piobert, l'étude directe de l'influence qu'exercent les divers éléments de la fabrication des poudres sur leur mode de combustion, mais en opérant cette combustion, non pas à l'air libre comme l'avait fait Piobert, mais sous des pressions comparables à celles qui sont réalisées dans les bouches à feu.

A cet effet, nous étudions la loi de développement des pressions produites par la combustion des poudres dans une éprouvette close et résistante.

Les conditions de cette combustion ne sont pas identiques à celles qui se trouvent réalisées dans une bouche à feu. Dans nos expériences, la pression est constamment croissante jusqu'à la fin de la combustion : *elle ne dépend à chaque instant que de la fraction de la charge brûlée,* contrairement à ce qui se passe dans un canon où le déplacement du projectile intervient à chaque instant dans la valeur de la pression.

Ces conditions de combustion sont donc beaucoup plus simples que celles de la combustion dans les armes, bien qu'elles permettent de faire fonctionner la poudre sous les mêmes pressions; les résultats obtenus sont indépendants de toute hypothèse relative aux phénomènes de détente des gaz et à la valeur des chaleurs spécifiques. Enfin cette méthode permet d'opérer silencieusement sur des charges restreintes, susceptibles de recevoir des modifications physiques ou chimiques, qu'il serait impraticable d'appliquer en grand aux charges en usage dans les bouches à feu.

La loi de développement des pressions produites en vase clos par la combustion de la charge est obtenue au moyen du manomètre crusher enregistreur que nous avons utilisé, M. Sarrau et moi, dans des études antérieures sur le mode de fonctionnement des manomètres à écrasement.

On enregistre sur un cylindre tournant la loi d'écrasement d'un cylindre de cuivre, par un piston dont la base, de section connue, reçoit l'action de la pression.

Dans les conditions de nos expériences, le fonctionnement de l'appareil est sensiblement statique, de sorte que le tracé de la loi

d'écrasement du cylindre peut être considéré comme la représentation même de la loi de développement des pressions.

Comme, d'autre part, cette loi de développement des pressions *en vase clos* est liée directement au mode de combustion de la charge, sans perturbations dues aux phénomènes de détente, on conçoit que ce tracé puisse caractériser le mode de combustion et permettre d'en suivre les phases.

Chaque tracé peut être défini par un certain nombre d'éléments qui deviennent les caractéristiques de la combustion. Parmi ces éléments, il en est deux qui jouent un rôle prépondérant dans l'étude que nous avons entreprise : c'est la durée totale de combustion et la vitesse maxima de développement de la pression. L'étude de ces deux éléments et de l'allure générale des tracés fournit des renseignements étendus sur le mode de fonctionnement de la charge et permet, notamment, une vérification rigoureuse de la loi de Piobert, relative au mode de fonctionnement par couches parallèles.

Il est facile de voir, en effet, que, lorsqu'une matière brûle par surfaces parallèles, si l'on forme des charges composées de grains de cette matière géométriquement semblables, *les durées totales de combustion* de ces charges en vase clos, pour une même densité de chargement, sont dans le rapport de similitude quelle que soit la loi qui lie la vitesse élémentaire de combustion à la pression.

D'une façon générale, les lois de combustion en vase clos de ces matières, obtenues en portant en ordonnées les pressions et en abscisses les temps, ne diffèrent que par l'échelle des abscisses, qui est proportionnelle aux dimensions homologues des grains semblables considérés. Cette propriété constitue donc un criterium du mode de combustion par surfaces parallèles, que nous avons appliqué aux matières de toute nature utilisées dans l'ancienne et dans la nouvelle artillerie.

On reconnaît ainsi que la combustion par surfaces parallèles d'un explosif constitue un cas exceptionnel qu'il est, en général, facile de réaliser par un mode spécial de fabrication, mais que, en fait, aucune des poudres noires utilisées en France ou à l'étranger ne présente, même approximativement.

Il est remarquable que les progrès les plus récents introduits dans la fabrication des poudres noires, notamment l'emploi des poudres brunes à canal central, dont la supériorité est incontes-

table, aient été suggérés par cette notion inexacte du mode de combustion (1).

Cette supériorité s'explique d'ailleurs aisément par des motifs d'un tout autre ordre que celui d'une émission progressive due à la combustion par couches parallèles; c'est à leur lenteur, leur homogénéité et au mécanisme de leur inflammation que ces poudres doivent leur supériorité balistique.

Toutes les poudres du type de la poudre noire actuellement en usage fonctionnent comme des charges comprimées, c'est-à-dire comme des masses poreuses capables de se résoudre, dès le début de la combustion, en éléments dont les dimensions n'ont aucun rapport susceptible d'être évalué à priori avec les dimensions primitives du grain de poudre; ce noyau élémentaire règle la durée de combustion qui est, dès lors, indépendante des dimensions du grain total.

L'étude des matières *compactes* du type des poudres noires brûlant par couches concentriques, qu'il est possible de former par des procédés spéciaux de fabrication, montre d'ailleurs que la solution à laquelle la pratique a conduit les fabricants, en dépit d'une théorie inexacte, est la seule qui se prête aux exigences balistiques.

Les matières réellement compactes présentent, en effet, une vitesse de combustion très faible, ne dépassant pas, sous les pressions élevées du tir, quelques centimètres par seconde, et leur mise en œuvre directe, sans une agglomération intermédiaire, eût conduit à des types de poudres inacceptables dans les tirs à grande charge, en raison de la petitesse ou de la fragilité de leurs grains, ainsi que nous le montrerons au cours de cette étude.

Les poudres colloïdales récemment introduites dans les armements européens présentent, au contraire, la propriété caractéristique de brûler par couches parallèles, et l'on peut dire que ce sont les premières matières explosives fonctionnant suivant ce mode qui aient été introduites dans les approvisionnements de guerre.

De cette propriété résultent leurs formes, si différentes de celles des poudres noires, fils, plaques ou bandes dont l'épaisseur minimum n'est parfois que le $\frac{1}{10}$ de la dimension correspondante

(1) Voir la remarquable conférence du colonel Barker (*Comptes rendus de la Royal Artillery Institution*, du mois de mai 1893).

des poudres noires qu'elles remplacent au point de vue balistique.

Cette faible valeur, de l'une au moins des dimensions du grain ou élément de la charge, est nécessitée par la petitesse de la vitesse de combustion des matières compactes; d'autre part, les formes de fils ou de bandes disposées en faisceaux parallèles à l'axe de la chambre à poudre sont indispensables pour éviter les perturbations dues à une inflammation défectueuse et les surpressions locales qui en résultent.

Les matières colloïdales, grâce à leur souplesse et leur grande résistance, se prêtent, en effet, à ce mode de constitution des charges, qui était impraticable avec les matières cristalloïdes du type de la poudre noire. C'est donc, en résumé, à des propriétés physiques de ténacité que se trouve liée la possibilité d'emploi de matières brûlant par surfaces parallèles.

Mais il importe de remarquer que ce mode d'emploi des matières colloïdales, sous forme de fils ou de lanières, n'a rien d'indispensable et qu'il est possible de les utiliser sous forme de grains prismatiques de grandes dimensions, comme les poudres noires, fonctionnant également comme charges comprimées résolubles en éléments de dimensions beaucoup plus faibles.

La supériorité balistique de l'un de ces deux procédés d'emploi, abstraction faite des facilités de fabrication, n'est point encore établie.

L'étude des matières qui satisfont au criterium de combustion par couches parallèles peut être complétée par une analyse plus étendue des données fournies par le tracé. Ce tracé donne, en effet, la fraction de la charge brûlée en fonction du temps, et comme d'autre part, dans la combustion par couches parallèles, la fraction brûlée est géométriquement liée à l'épaisseur brûlée, cet élément est connu lui-même en fonction du temps, et l'on en déduit la vitesse élémentaire de combustion correspondant à chaque instant et, par suite, à chaque valeur de la pression.

L'explosif brûlant par couche parallèle se trouve donc entièrement défini au point de vue balistique.

Ce mode de calcul ne s'applique pas aux matières qui fonctionnent comme charges comprimées, c'est-à-dire pour lesquelles la durée de combustion est sensiblement indépendante de l'épaisseur.

Les dimensions du noyau élémentaire qui règlent la durée de leur combustion ne sont pas connues et, d'ailleurs, l'expérience indique que l'homogénéité des matières de cette espèce ne peut être regardée comme suffisante pour qu'il y ait intérêt à rechercher la loi suivant laquelle varie la vitesse de combustion élémentaire de ce noyau hypothétique. Mais, à défaut de cette donnée précise, la loi d'émission du système composant le grain, dans des conditions de chargement déterminées, caractérise le fonctionnement de l'explosif et nous avons cherché, dans cette donnée complexe, quel est l'élément qui pouvait servir de mesure à la vivacité de l'explosif.

Il résulte de nos recherches que la valeur de la vitesse maxima de développement de la pression, dans des conditions de chargement déterminées, classe les matières explosives dans l'ordre de lenteur que leur attribuent l'expérience et les formules balistiques, et que cette donnée, jointe à celle de la force de l'explosif, permet une prévision très approchée de ses effets dans les armes.

Cette méthode ramène donc à des expériences de laboratoire, ne nécessitant que des échantillons restreints, l'étude de la fabrication et du fonctionnement des poudres de toute nature, y compris celles qui sont destinées aux armes des plus forts calibres.

CHAPITRE PREMIER.

APPAREILS ET MÉTHODES D'OBSERVATION.

I. — APPAREILS.

La donnée première utilisée dans nos recherches consiste dans la loi d'écrasement d'un cylindre crusher soumis aux pressions développées en vase clos, par la combustion d'un explosif.

Cette loi est obtenue au moyen de l'inscription directe, sur un cylindre tournant, du mouvement du piston écraseur.

L'appareil ne diffère pas, en principe, de celui que nous avons

utilisé, M. Sarrau et moi, dans nos recherches antérieures, sur le mode d'emploi des manomètres à écrasement.

Sous sa forme la plus récente, il constitue ce que nous avons appelé le *manomètre enregistreur*.

Il se compose de trois parties : l'éprouvette, le cylindre tournant avec son moteur et le diapason à fonctionnement automatique.

Éprouvette. — L'éprouvette dans laquelle se produit la combustion de la charge est constituée par un tube cylindrique dont les dimensions sont variables avec le nature des poudres sur lesquelles portent les essais.

Dans les expériences concernant les poudres de petites dimensions, l'éprouvette a 22^{mm} de diamètre intérieur et 70^{mm} de diamètre extérieur; sa capacité est de 22^{cc} environ. Elle est filetée à ses deux extrémités et reçoit deux bouchons en acier, dont l'un sert à la mise de feu de l'explosif et l'autre reçoit le manomètre crusher.

Le *bouchon de mise de feu* est percé, suivant son axe, d'un canal cylindrique se terminant par un logement tronconique évasé vers l'intérieur de l'éprouvette, qui peut être exactement fermé par une tige d'acier de même forme, isolée électriquement du corps du bouchon par une mince couche de vernis à la gomme laque. On peut ainsi porter à l'incandescence, par le passage d'un courant, un fil métallique fin, de platine ou de fer, réunissant les deux tiges de cuivre, fixées l'une sur le cône isolé, l'autre sur le bouchon.

Le bouchon crusher est percé d'un canal cylindrique dans lequel se meut à frottement doux un piston dont la base, de section connue, reçoit l'action de la pression. Sur la tête de ce piston repose un cylindre de cuivre centré par une bague de caoutchouc et contrebutté par un tampon fileté, qui se visse à la partie supérieure du bouchon.

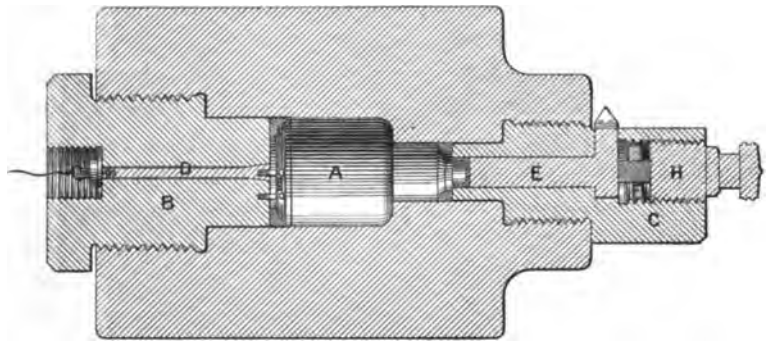
La tête du piston porte un appendice qui fait saillie à l'extérieur du bouchon, par une fente qui lui sert de guide et qui assure le mouvement rectiligne du piston parallèlement à son axe.

Sur l'appendice de la tête du piston est fixée une plume mince de clinquant d'acier, courte et large, destinée à tracer sur le cylindre tournant. La fermeture de l'éprouvette est complétée par des obturateurs en cuivre disposés, sous forme d'anneaux sous les bouchons et sous forme de calotte sous le piston mobile.

La pression produite par la combustion de l'explosif applique les obturateurs contre les surfaces qu'ils réunissent, en s'opposant à toute fuite. Elle agit de même sur le piston conique du bouchon de mise de feu.

Dans l'étude des poudres à gros grains ou des poudres colloïdales de grandes dimensions, nous avons utilisé des éprouvettes de 75^{cc}, 150^{cc} et 350^{cc} de capacité; la *fig.* 1 ci-après représente

Fig. 1. — Éprouvette de 75^{cc}.



A. Chambre de combustion. — B. Bouchon de mise de feu. — C. Bouchon crusher. — D. Tampon conique isolé. — E. Piston écraseur. — F. Cylindre de cuivre. — H. Tampon enclume.

l'éprouvette de 75^{cc}. A l'une de leurs extrémités, ces éprouvettes présentent le même tracé que la bombe de 22^{cc} et reçoivent le même dispositif d'enregistrement. L'autre extrémité seule est modifiée et se ferme par un bouchon de mise de feu du diamètre de la chambre permettant l'introduction des poudres de gros calibre.

L'éprouvette, quel que soit son type, est solidement fixée à l'aide d'un étrier, sur un support métallique qui maintient son axe horizontal et parallèle à celui du cylindre tournant. Ce support est lui-même boulonné sur le socle en fonte qui supporte tout l'appareil.

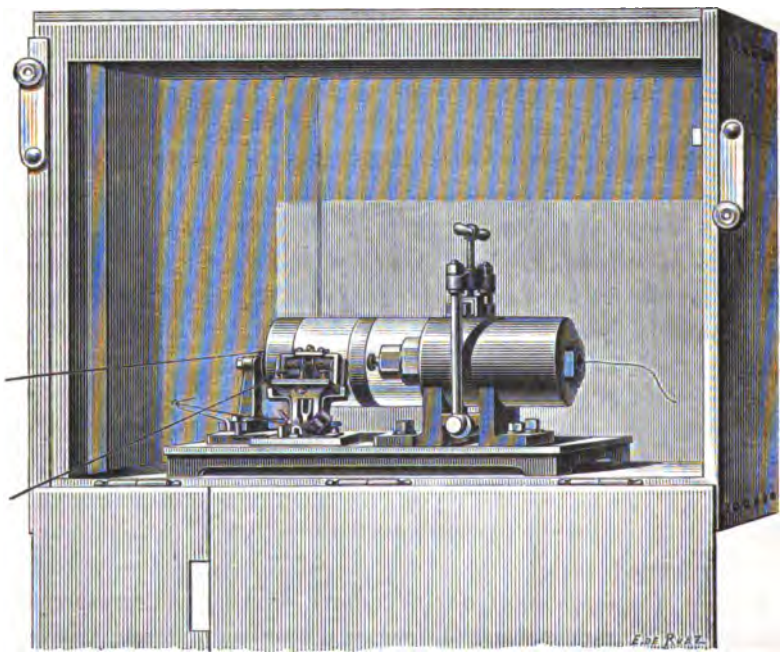
Cylindre tournant. — Devant la plume portée par le piston est disposé un cylindre de bronze, de 0^{m}, 14 de diamètre, recouvert de papier enfumé qui tourne sur son axe parallèle à l'axe de l'éprouvette. Le mouvement est donné à l'aide d'une poulie et d'un fil, soit par un moteur électrique Marcel Deprez, soit par un

moteur à poids. La vitesse linéaire du cylindre tournant sous la plume peut varier, suivant les expériences, de $0^m,50$ à 10^m par seconde. Avant l'explosion de la charge, la plume trace sur le cylindre un cercle correspondant à la position initiale du piston. Lorsqu'on met le feu à la charge, le piston se déplace en écrasant le cylindre et la plume trace une courbe sur le cylindre tournant. Puis, la combustion étant terminée, le piston s'arrête et la plume trace un deuxième cercle correspondant à la position finale du piston.

La distance des deux cercles, comptée suivant une génératrice du cylindre, est égale à l'écrasement du cylindre de cuivre.

Diapason. — La vitesse du cylindre est évaluée en faisant tou-

Fig. 2.



cher, au moment de l'explosion, le cylindre enfumé par un diapason muni d'une plume et entretenu électriquement en vibration. Le fonctionnement de cette inscription est obtenu automatiquement par

le premier déplacement du piston écraseur, au moyen d'un dispositif déjà décrit dans ce recueil. Le diapason trace sur le cylindre une sinusoïde dont chaque ondulation correspond à un temps rigoureusement connu par un tarage préalable.

Nous avons généralement employé des diapasons donnant 500 vibrations doubles par seconde.

Tout l'appareil est disposé dans une cage en tôle épaisse scellée dans un mur fort. Cette cage peut être fermée au moment de la mise de feu par des volets en fer maintenus par de solides loquets.

L'expérience nous a montré à plusieurs reprises que cette précaution n'était pas inutile.

La *fig.* 2 ci-dessus représente l'ensemble de l'installation.

Détermination de la loi d'écrasement. Micromètre Bianchi. — Après l'expérience, on détache la feuille enfumée, on mesure au micromètre la longueur de l'ondulation de la sinusoïde et l'on en déduit la vitesse du cylindre, qui reste d'ailleurs constante pendant un grand nombre de tours.

La courbe tracée sur le cylindre est relevée, par points, au moyen de lectures au microscope effectuées suivant deux axes rectangulaires, et l'on connaît ainsi complètement la loi du mouvement du piston en fonction du temps. La durée d'écrasement est immédiatement donnée par la mesure de la distance, comptée suivant la circonférence, des génératrices passant par les deux points de raccordement de la courbe tracée par la plume avec les cercles décrits à l'origine et à la fin du mouvement.

II. — MÉTHODES D'OBSERVATION.

Loi de développement des pressions. — La loi d'écrasement définie par le tracé permet de passer d'une façon simple à la loi de développement des pressions.

Les lectures effectuées au moyen du micromètre permettent, en effet, d'évaluer à chaque instant les déplacements, les vitesses et les accélérations du piston et, comme on connaît la masse de ce

piston, il est possible d'évaluer également à chaque instant les forces d'inertie. D'ailleurs, l'équation du mouvement rectiligne du piston est donnée par la relation

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \mathrm{F} - \mathrm{R},$$

F désignant la pression motrice et R la résistance connue du cylindre en fonction de l'écrasement.

On voit, par suite, que la connaissance des forces d'inertie permet d'évaluer à chaque instant la pression motrice et d'obtenir la loi de développement des pressions en fonction du temps.

En réalité, pour toutes les poudres susceptibles d'une application balistique, ces forces d'inertie sont nulles ou négligeables dans les conditions des expériences en vase clos, c'est-à-dire pour des densités de chargement conduisant à des pressions inférieures à 4500^{kg}, et la loi de résistance du cylindre en fonction du temps, fournie par la lecture directe des écrasements sur le tracé, se confond avec la loi de développement des pressions.

De cette loi de développement des pressions, il est facile de déduire la loi des quantités d'explosif brûlées en fonction du temps, c'est-à-dire la loi d'émission de l'explosif.

Évaluation de la fraction brûlée. — Lorsqu'un explosif se combure dans une capacité close, la pression qu'il détermine à chaque instant résulte de l'accumulation des produits de la décomposition d'une partie de la charge dans un volume plus petit que celui de la capacité close, puisqu'une partie de la charge subsiste non brûlée.

Or, la loi suivant laquelle la pression P est liée à la densité moyenne Δ des produits de la décomposition est connue : c'est la loi de Noble et Abel ou de Clausius,

$$p = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}, \tag{1}$$

dans laquelle f et α désignent deux constantes : l'une f qui est la force de l'explosif, l'autre α qui en est le covolume rapporté à l'unité de poids. Ces constantes se déduisent, soit de considérations théoriques, soit d'une série de déterminations des pressions

maxima produites par l'explosif à diverses densités de chargement. Il suffira donc d'évaluer Δ en fonction de la fraction x de la charge brûlée, à un instant quelconque, pour en déduire la pression P au même instant.

Soit ϖ le poids de la charge de densité δ placée dans une capacité close de volume V, et soit x la fraction brûlée à un instant quelconque. Désignons par Δ_0 la densité moyenne des produits de la combustion lorsqu'elle est totale. On a, par définition,

$$\Delta_0 V = \varpi.$$

La valeur de Δ à un instant quelconque est

$$\Delta = \frac{\varpi x}{V - \varpi\left(\frac{1-x}{\delta}\right)} = \frac{\Delta_0 x}{1 - \frac{\Delta_0}{\delta}(1-x)}.$$

Substituant dans la formule (1), on a

$$P = \frac{f\Delta_0 x}{1 - \frac{\Delta_0}{\delta}(1-x) - \alpha\Delta_0 x}.$$

Il est commode de transformer cette expression; en introduisant la pression maximum $P_0 = \frac{f\Delta_0}{1-\alpha\Delta_0}$ correspondant à la combustion complète, il vient

$$(2) \qquad x = \frac{P\left(1 - \frac{\Delta_0}{\delta}\right)}{P_0(1-\alpha\Delta_0) + P\Delta_0\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)} = \frac{1}{1 + \frac{1-\alpha\Delta_0}{1-\frac{\Delta_0}{\delta}}\frac{P_0 - P}{P}}.$$

Pour les poudres noires, le coefficient $\frac{1-\alpha\Delta_0}{1-\frac{\Delta_0}{\delta}}$ est très voisin de l'unité, parce que le covolume α est compris entre 0,5 et 0,6 et la densité δ entre 1,8 et 1,9, de telle sorte que la densité est voisine de l'inverse du covolume; la valeur de la fraction brûlée, à l'instant où la pression est P, est alors sensiblement donnée par le rapport $\frac{P}{P_0}$ de cette pression à la pression maximum P_0.

Mais, pour le coton-poudre aggloméré ou les poudres à la nitro-

glycérine, pour lesquelles $\alpha = 1$ et $\delta = 1{,}6$, le coefficient $\frac{1-\alpha\Delta_0}{1-\frac{\Delta_0}{\delta}}$ ne saurait être pris sans erreur égal à l'unité.

Il y a lieu, toutefois, de remarquer que, si l'on compare les divers explosifs dont il vient d'être parlé sous des densités de chargement choisies de façon à donner la même pression maximum P_0, x est donné très sensiblement par la même fonction de P dans tous les cas. Nous trouverons plus loin l'application de cette remarque.

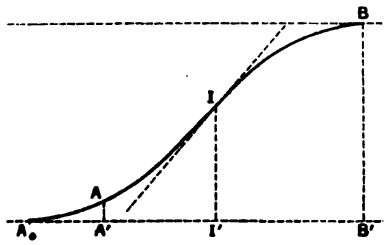
Dans tous les cas, la formule (2) fournit la valeur de la fraction de la charge brûlée à l'instant où la pression est P, et permet de déduire de la loi des pressions en fonction du temps la loi de combustion de la charge.

Éléments caractéristiques de la loi de combustion. — Il résulte de ce qui précède que la donnée fondamentale fournie par le tracé consiste dans la connaissance de la loi de développement des pressions ou de la loi d'émission de l'explosif dans des conditions de chargement déterminées.

Cette donnée d'ensemble se prête mal aux comparaisons des divers explosifs entre eux, et nous avons été conduit à substituer à la loi de développement des pressions un certain nombre d'éléments caractéristiques du tracé qui suffisent à le définir avec précision.

La loi de développement des pressions d'un explosif brûlant en vase clos se présente toujours sous la forme sinusoïdale représentée par le diagramme ci-dessous, dans lequel les abscisses mesurent les temps et les ordonnées les pressions.

Fig. 3.



Le point A_0 (*fig.* 3) correspond à l'origine de l'inflammation; le

point A au début de l'écrasement du cylindre crusher, à partir duquel commence l'enregistrement de la loi des pressions.

Le point I est un point d'inflexion dont la tangente $\frac{dp}{dt}$ maximum est déterminée par les lectures micrométriques et mesure la vitesse maxima du développement de la pression. Le point B, où la tangente est toujours horizontale, correspond à la fin de la combustion.

Ces quatre points et les tangentes connues en I et B définissent d'une façon suffisante la loi de combustion de l'explosif.

Les éléments caractéristiques d'un tracé sont donc :

$A_0A' = D_0$ .. Durée de la période d'inflammation;

$A'B' = D_e$ .. Durée totale de combustion à partir de la pression déterminant le premier écrasement;

$A'I' = D_i$... Durée de production du $\frac{dp}{dt}$ maximum;

$\frac{dp}{dt}$ M..... Tangente d'inflexion;

P ..... Pression maximum;

P_i..... Pression correspondant au point d'inflexion.

Ces éléments subissent, ainsi que nous le verrons au cours de cette étude, des variations considérables lorsqu'on passe d'un type de poudre à un autre, et chacun d'eux apporte un renseignement spécial sur le mode de combustion de l'explosif.

Les plus importants sont la durée totale D_e de la combustion proprement dite et la valeur $\frac{dp}{dt}$ M de la vitesse maxima de développement de la pression.

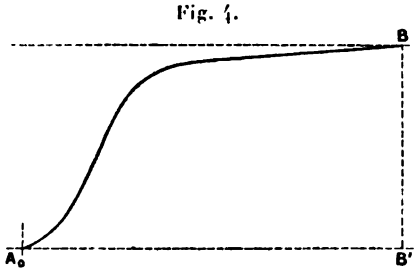
Ces éléments caractérisent la lenteur de l'explosif. Ils peuvent varier dans le rapport de 1 à 30 pour un même type de matière brûlant en vase clos dans les mêmes conditions de chargement, lorsqu'on passe des poudres vives, utilisées dans les armes de petit calibre ou dans les canons de campagne, aux poudres lentes appropriées au tir des pièces de gros calibre de la Marine.

La position du point d'inflexion, c'est-à-dire les variables D_i et P_i ou, plus exactement, leurs rapports à D_e et P caractérisent la loi d'émission indépendamment de sa durée. Ainsi, pour les poudres très aplaties et brûlant par couches concentriques, les surfaces d'émission restent presque constantes et, comme la vitesse

de combustion croît avec la pression, l'émission va croissant presque jusqu'à la fin de la combustion. Le point I se rapproche alors beaucoup du point B. Les poudres cubiques de même nature dont l'émission décroît rapidement présentent, au contraire, le point d'inflexion dès l'origine de l'écrasement.

Ces mêmes éléments caractérisent aussi les poudres hétérogènes, composées de couches superficielles denses et lentes avec noyau intérieur plus vif. Contrairement à l'idée qui a présidé à leur fabrication, ces poudres fonctionnent constamment comme anti-

Fig. 4.



progressives et fournissent des tracés dans lesquels le point d'inflexion se trouve tout à fait à l'origine de la courbe, le rôle le plus net des couches lentes se réduisant à prolonger la combustion avec une émission très faible, comme l'indique la *fig.* 4 ci-dessus.

Évaluation de la vitesse élémentaire de combustion des matières brûlant par couches parallèles. — La loi de développement des pressions fournie par le tracé constitue une donnée complexe; elle dépend, en effet, de deux fonctions également inconnues, sauf dans des cas particuliers : la loi de variation des surfaces d'émission de la charge et la loi de variation de la vitesse de combustion. On voit, en effet, que, si l'on considère la combustion à un instant quelconque, la fraction x de la charge brûlée pourra se mettre sous la forme

$$x = \frac{1}{V}\int_0^E S\,dn = \frac{1}{V}\int_0^T S v\,dt,$$

dans laquelle V désigne le volume primitif de la charge supposée homogène, S la surface atteinte par la combustion à un instant quelconque, dn le chemin effectué par la combustion suivant la

normale à la surface enflammée, v la vitesse élémentaire de combustion au même instant.

La connaissance de la loi de variation de x, déduite du tracé en fonction du temps, ne nous apporte donc qu'une donnée d'ensemble sur le mode de variation simultané de deux fonctions S et v également inconnues *a priori* et qu'il n'est pas possible de séparer.

Pour aller plus loin, il est nécessaire de connaître une relation entre ces deux fonctions, et cette condition est précisément remplie dans le mode de combustion de l'explosif par couches parallèles. Dans ce cas, en effet, la fonction S peut s'exprimer *a priori* géométriquement en fonction de l'épaisseur brûlée n; dès lors, la lecture du tracé fournit la loi de variation de l'épaisseur brûlée en fonction du temps.

On a donc

$$e = f(t),$$

d'où

$$\frac{de}{dt} = v = f(t) = \varphi(p),$$

puisque p est une fonction connue du temps.

Voici le mode de calcul adopté dans nos expériences :

La combustion de la charge s'opérant par couches parallèles, l'inflammation se propage normalement à la surface des grains supposés identiques, avec une même vitesse en tous les points de cette surface.

La forme géométrique connue du grain permet le calcul des volumes parallèles successifs qui correspondent à des cheminements égaux et connus de l'inflammation suivant la normale.

On peut ainsi dresser le tableau des fractions brûlées en fonction de la réduction des dimensions linéaires du grain et évaluer inversement par interpolation l'*épaisseur brûlée* correspondant à une fraction brûlée quelconque.

La loi de ces fractions brûlées étant d'ailleurs fournie par le tracé en fonction du temps, la loi des épaisseurs brûlées sera obtenue en fonction de la même variable.

L'exemple suivant montre le développement de ces divers calculs. Le tracé n° 1021 a été obtenu par la combustion en vase clos, à la densité de chargement 0,2, d'une poudre formée de 50 pour

100 de nitroglycérine et de 50 pour 100 de coton-poudre, par agglomération à l'aide d'un dissolvant.

On s'est préalablement assuré que ce type de matière brûle par couches parallèles, au moyen d'une méthode qui sera développée plus loin.

La charge se composait de prismes rectangulaires aplatis, de 27^{mm} sur $21^{mm},5$; épaisseur $2^{mm},36$. Les fractions de charge brûlées correspondant à la combustion d'épaisseurs successives, croissant de $0^{mm},25$, sont données dans le tableau suivant.

Épaisseur brûlée.	Fraction de la charge brûlée (en centièmes).
mm	
0,00	5,00 (combustion de la charge amorce)
0,25	16,83
0,50	28,22
0,75	39,19
1,00	49,73
1,25	59,86
1,50	69,58
1,75	78,91
2,00	87,83
2,25	96,37

La lecture du tracé par intervalles de $0^{mill.\ sec.}610$ conduit aux nombres suivants :

PRESSIONS.	FRACTIONS brûlées.	VITESSES moyennes de combustion.	PRESSIONS moyennes correspondantes.
kg			
146	6,28		
286	12,24	cm 10,32	kg 216
440	18,71	11,39	313
644	27,17	15,24	542
861	36,04	16,46	752
1136	47,06	21,15	998
1478	60,42	26,93	1307
1834	74,02	29,02	1656
2229	88,65	33,26	2031
2430	95,97	35,11	2329
⋮			
2542			

Les lectures brutes du tracé fournissent donc des vitesses de combustion régulièrement croissantes avec la pression, sans rectification d'aucune sorte; la méthode est donc susceptible de donner la loi de variation de la vitesse élémentaire de combustion en fonction de la *pression*.

Cette donnée, jointe à celles de la force, du covolume et de la température de combustion qui se déduisent de la mesure des pressions à diverses densités de chargement, définit d'une façon complète, au point de vue balistique, tout explosif *dont le mode de combustion s'opère par tranches parallèles.*

Il reste à montrer comment cette propriété fondamentale peut être mise en évidence.

Criterium du mode de combustion par couches parallèles. — D'après ce qui précède, un tracé isolé ne peut fournir la vérification du fonctionnement par couches parallèles, parce que la loi d'émission que ce tracé permet d'obtenir ne donne qu'une relation entre les deux fonctions inconnues, relatives à la loi de variation des surfaces et à la loi de variation des vitesses élémentaires de combustion avec la pression.

On est, par suite, conduit à recourir à des couples d'expériences utilisant, dans les mêmes conditions de chargement, des poudres de même nature, mais de formes diverses. On obtient ainsi les relations nécessaires à la séparation des deux fonctions inconnues.

Cette comparaison s'effectue simplement par l'étude des lois de combustion de grains semblables.

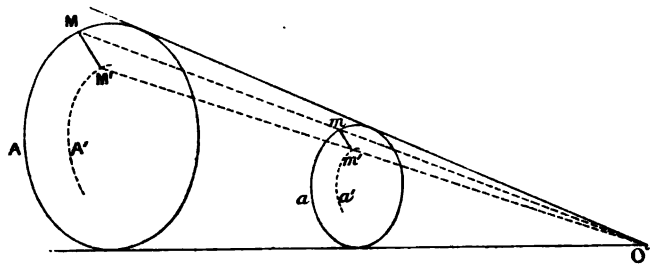
Combustion de grains semblables. — Les durées totales de combustion de grains géométriquement semblables pour une même densité de chargement, c'est-à-dire, d'après la loi d'Abel, pour une même pression maximum, sont dans le rapport de similitude, lorsque la combustion s'opère par couches parallèles.

Soient A (*fig.* 5) un grain de poudre, a un grain semblable et semblablement placé, q le rapport de similitude : on a pour deux points M, m homologues quelconques $\frac{\mathrm{O}m}{\mathrm{OM}} = q$.

Lorsqu'une fraction x du grain A a été brûlée, son volume est

limité par la surface A′, obtenue en portant sur les normales, en chaque point de la surface primitive, une longueur constante égale à MM′. Si l'on mène de même, par tous les points homologues m du deuxième grain, les normales mm', qui seront parallèles aux nor-

Fig. 5.



males MM′, et qu'on porte sur ces normales des longueurs $q \times \mathrm{MM}'$, on obtiendra une nouvelle surface a' qui sera semblable à la surface A′. On voit, en effet, en raison de la similitude des triangles OMM′ et Omm', que l'on aura, pour tous les points de ces surfaces A′, a', $\frac{\mathrm{O}m'}{\mathrm{OM}'} = q$.

On a donc

$$\frac{\mathrm{vol\,A}}{\mathrm{vol}\,a} = \frac{\mathrm{vol\,A}'}{\mathrm{vol}\,a'} = \frac{\mathrm{vol\,A} - \mathrm{vol\,A}'}{\mathrm{vol}\,a - \mathrm{vol}\,a'},$$

d'où

$$\frac{\mathrm{vol\,A} - \mathrm{vol\,A}'}{\mathrm{vol\,A}} = \frac{\mathrm{vol}\,a - \mathrm{vol}\,a'}{\mathrm{vol}\,a} = x,$$

en désignant par x la fraction de la charge brûlée.

Des épaisseurs brûlées $e = q \times \mathrm{MM}'$ proportionnelles au rapport de similitude assurent donc la combustion d'une même fraction x des charges constituées par des grains semblables, et l'on peut écrire que, pour tous ces grains, x est une même fonction de $\frac{e}{q}$,

$$x = \varphi\left(\frac{e}{q}\right).$$

Nous avons vu, d'autre part, que x est, pour une densité de chargement déterminée, une fonction de la pression indépendante de la forme de la charge

$$x = f(p),$$

On peut donc écrire, dans le cas de grains primitivement semblables,

$$\frac{e}{q} = \mathrm{F}(p).$$

La durée totale de combustion $\mathfrak{T}$, correspondant à une épaisseur brûlée E, est, par définition,

$$\mathfrak{T} = \int_0^{\mathrm{E}} \frac{de}{v},$$

v désignant la vitesse élémentaire de combustion qui dépend de la pression suivant une loi $v = \mathrm{F}_1(p)$, commune à tous les grains formés d'une même matière.

On a donc finalement

$$\mathfrak{T} = q \int_0^{\mathrm{P}} \frac{\mathrm{F}'p}{\mathrm{F}_1(p)}\, dp,$$

c'est-à-dire que la durée de combustion correspondant à la production d'une même pression P pour les divers grains est proportionnelle au rapport de similitude.

La loi de développement des pressions en fonction du temps, pour ces divers grains, ne diffère donc que par l'échelle des temps, qui se trouve réduite dans le rapport de similitude.

Tel est donc, dans la combustion de grains semblables, à une même densité de chargement, le criterium de l'exactitude de la loi de Piobert.

Comme conséquence de cette relation, on voit que les durées totales de combustion et les $\frac{dp}{dt}$ maxima varient, pour les divers grains, dans le même rapport de similitude.

Les grains sphériques ou cubiques satisfaisant à la condition de similitude devront fournir des durées de combustion proportionnelles à leurs dimensions linéaires.

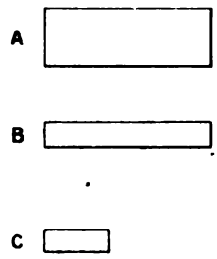
Combustion de grains non semblables. — La facilité des expériences conduit, dans un grand nombre de cas, à comparer les durées de combustion de grains non semblables obtenus par la compression de matières explosives dans un même moule sous des épaisseurs variables.

Dans ce cas, le rapport des durées de combustion de matières

brûlant par couches parallèles est sensiblement donné par le rapport des épaisseurs maxima des grains, mais cette égalité n'est plus rigoureuse et il est facile de reconnaître dans quel sens elle est modifiée.

Considérons, par exemple, des charges égales constituées par

Fig. 6.

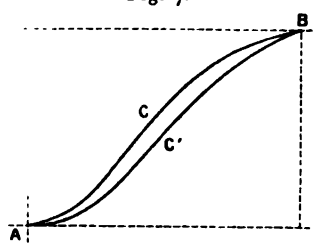


un bloc cylindrique A (*fig.* 6), par des pastilles B de même section, mais d'épaisseur différente, et, enfin, par des grains C *semblables à* A et découpés dans les pastilles B, c'est-à-dire de même épaisseur que ces pastilles. Nous savons que la durée de combustion de ces derniers grains est à celle du bloc dans le rapport des épaisseurs.

Il reste à comparer les durées de combustion des pastilles et des grains de même épaisseur.

On reconnaît aisément que les surfaces d'émission S_0 des pas-

Fig. 7.



tilles sont, au début de la combustion, plus faibles que celles S'_0 des grains. Inversement, à la fin de la combustion, les pastilles conservent des surfaces d'émission S_f plus grandes que celles S'_f des grains C. Si donc on porte en abscisses les épaisseurs brûlées des deux systèmes de grains de même épaisseur et en ordonnées

les pressions correspondantes, on obtiendra les deux courbes ci-dessus, dont les extrémités se confondent, mais dont l'une correspondant aux pastilles est constamment au-dessous de l'autre. En effet, les charges étant égales par hypothèse, les volumes primitifs de ces charges sont eux-mêmes égaux; les fractions de ces charges brûlées, lorsque la combustion s'est étendue à partir de l'origine à une même épaisseur *de* infiniment petite, sont

$$\frac{S_0\,de}{V} < \frac{S'_0\,de}{V}$$

ou

$$dx_0 < dx'_0.$$

Or x est une même fonction de p, pour les deux charges; on a donc

$$dx = f'(p)\,dp.$$

La valeur $f'_0 p$ étant commune, à l'origine, pour les deux charges, dx est proportionnel à dp et l'on a

$$dp_0 < dp'_0$$

ou

$$\frac{dp_0}{de} < \frac{dp'_0}{de}.$$

On a par le même raisonnement, à la fin de la combustion,

$$\frac{dp_f}{de} => \frac{dp'_f}{de}.$$

La courbe des pressions relative aux pastilles a donc ses tangentes en A et B au-dessous de celles de la courbe des grains et reste, par suite, entièrement au-dessous de cette dernière.

On voit donc que, pour chaque épaisseur brûlée, les pressions seront toujours plus petites pour les pastilles que pour les grains de même épaisseur, et la même inégalité subsiste pour les vitesses élémentaires de combustion correspondantes, qui sont une même fonction croissante de la pression pour une même matière explosive.

Les durées totales de combustion $\tau = \int_0^e \frac{de}{v}$ pourront donc se décomposer en un même nombre d'éléments dont les numérateurs sont identiques, puisque les épaisseurs sont égales, et dont les

dénominateurs sont constamment plus petits pour les pastilles à grand aplatissement que pour les grains.

La durée totale de combustion croît donc, à égalité d'épaisseur, avec l'aplatissement du grain.

L'écart des deux courbes C et C′, d'où résulte la différence des durées de combustion, n'est sensible que lorsque les rapports $\frac{S_0}{S'_0}$ et $\frac{S_f}{S'_f}$, qui mesurent les rapports des tangentes aux extrémités de la courbe, sont notablement différents.

Il importe, en vue de la discussion d'un certain nombre de nos expériences, de se rendre compte de la façon dont l'aplatissement des matières modifie ce rapport.

Considérons d'une part une plaque d'épaisseur e, que nous supposerons carrée, et de côté l, et d'autre part des grains cubiques de même matière de côté e. Si l'on forme des charges de ces deux poudres, l'égalité des volumes donne $el^2 = ne^3$, n étant le nombre des grains cubiques.

Le rapport des surfaces initiales de combustion

$$\frac{S'}{S} = \frac{6ne^2}{2l^2 + 4le} = \frac{6l^2}{2l^2 + 4le} = \frac{3}{1 + 2\frac{e}{l}}.$$

Lorsqu'on donne au rapport $\frac{e}{l}$ des valeurs décroissantes de 1 à 0, on voit que le rapport $\frac{S'}{S}$ varie de l'unité à la valeur limite 3, et que la variation, d'abord très rapide lorsqu'on compare le grain cubique à des poudres faiblement aplaties, ne s'accroît plus qu'avec lenteur pour les aplatissements croissant indéfiniment.

Il en résulte que, dès que les expériences portent sur des matières dont l'aplatissement est considérable, les durées de combustion ne sont plus influencées d'une façon appréciable par la forme des grains et ne sont plus régies que par l'épaisseur. C'est ce que montre d'ailleurs le tableau suivant, qui donne les rapports des surfaces initiales d'émission des charges cubiques et des charges diversement aplaties de même épaisseur.

APLATISSEMENT.	RAPPORT $\frac{S'}{S}$.	RAPPORT des surfaces successives des matières d'aplatissement double.
$\frac{1}{2}$.....	1,50	1,50
$\frac{1}{4}$.....	2,00	1,33
$\frac{1}{6}$.....	2,40	1,20
$\frac{1}{16}$.....	2,66	1,11
$\frac{1}{32}$.....	2,82	1,06

A l'appui de ces indications, nous citerons les données suivantes fournies par la combustion de matières compactes de même épaisseur.

Premier exemple. — Les charges comparées étaient constituées par de la matière de poudre noire comprimée à une densité supérieure à 1,900 et se composaient, d'une part, de pastilles de 20^{mm} de diamètre et de $3^{mm},40$ d'épaisseur et, d'autre part, de grains cubiques de $3^{mm},40$ de côté, découpées dans des pastilles identiques. Il est facile de voir que, dans ce cas, les surfaces d'émission initiales de charges égales des deux types de poudre sont sensiblement dans le rapport de 1 à 2.

Les durées observées à deux densités de chargement, 0,3 et 0,6, sont réunies dans le tableau suivant :

NUMÉROS des tracés.	NATURE des charges.	DENSITÉ DE CHARGEMENT 0,3. Durée d'écrasement en millièmes de seconde.	0,3. $\frac{dp}{dt}$ M en tonnes par seconde.	0,6. Durée d'écrasement en millièmes de seconde.	0,6. $\frac{dp}{dt}$ M en tonnes par seconde.
780 et 783	Pastilles de 20^{mm} de diamètre...	26,5	$44^{T},7$	20,4	$157^{T},3$
782 et 785	Grains cubiques.	17,7	$136^{T},3$	15,2	$348^{T},4$

L'aplatissement passant de 1 à $\frac{1}{6}$, les durées de combustion se

sont accrues de $\frac{1}{3}$ environ. Tel est l'ordre de grandeur des modifications que cet élément peut subir pour des variations excessives de l'aplatissement à partir de l'unité, c'est-à-dire dans les conditions les plus défavorables entraînant une modification considérable de la loi de développement des pressions, comme l'indique la comparaison des $\frac{dp}{dt}$ maximum.

Deuxième exemple. — Les charges sont constituées par des matières de poudres colloïdales, genre cordite, et se composent, d'une part, de plaques carrées de 20^{mm} de côté et $0^{mm},8$ d'épaisseur et, d'autre part, de grains aplatis, également carrés, de 5^{mm} de côté découpés dans les plaques.

Les durées de combustion et les valeurs des $\frac{dp}{dt}$ M observées à la densité de chargement 0,2 sont réunies dans le tableau suivant :

NUMÉROS des tracés.	NATURE DES CHARGES.	DURÉE d'écrasement.	$\frac{dp}{dt}$ M.
1539	Carrés de 20^{mm} de côté.....	$2^{ms},9$	1520^{T}
1540	Carrés de 5^{mm} de côté.....	$2^{ms},6$	1490^{T}

L'aplatissement variant de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{25}$, les durées de combustion, comme les valeurs $\frac{dp}{dt}$ M, ne présentent pas de différences supérieures aux limites d'erreur des mesures.

Dans ces limites d'aplatissement, le criterium du fonctionnement par couches parallèles consistera donc dans la proportionnalité des durées de combustion aux épaisseurs, sans conditions particulières relatives à la similitude des matières comparées.

Détermination de la durée de combustion. — Nous venons de voir que la durée totale de combustion joue un rôle important, soit comme criterium du mode de combustion, soit comme donnée caractéristique de la lenteur de l'explosif.

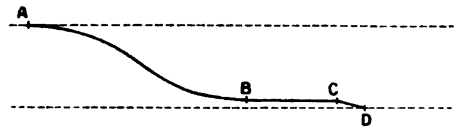
En principe, le fonctionnement de l'appareil étant statique, le début et la fin de l'écrasement du cylindre coïncident avec le début

de la pression et la fin de son accroissement, et la durée de combustion de l'explosif est mesurée par la longueur interceptée sur les cercles de base par les génératrices menées par les points de raccordement du tracé.

Cette égalité n'est, toutefois, pas rigoureuse et il convient de passer en revue les causes d'erreur qui affectent la détermination du début ou de la fin de la combustion.

Détermination du début de la combustion. — Le cylindre de cuivre ne commence à s'écraser d'une façon appréciable, de $\frac{2}{100}$ de millimètre, par exemple, que sous une pression initiale déjà importante, de 100^{kg} environ. L'origine de l'écrasement ne coïncide donc pas avec l'origine de la combustion. On peut obvier à cet inconvénient en laissant entre la tête du piston et le cylindre de cuivre un jeu initial de quelques dixièmes de millimètre. On enflamme l'explosif par une petite amorce de poudre très vive, dont la durée de combustion est négligeable vis-à-vis de celle de la charge principale, et dont le poids est réglé de façon à produire le déclenchement brusque du piston qui vient s'appuyer contre le cylindre métallique. La pression produite par la combustion de cette amorce étant insuffisante pour produire l'écrasement du cylindre, le piston s'arrête à son contact pour ne reprendre son mouvement que lorsque la combustion de la charge principale a déterminé un accroissement de pression qui dépasse la résistance du cylindre. Le tracé prend alors la forme ci-après (*fig.* 8), qui ne diffère

Fig. 8.



du tracé normal que par l'adjonction du palier de repos BC et du crochet de déclenchement CD.

Même dans ces nouvelles conditions, ce n'est pas encore l'origine de la combustion que l'on enregistre, mais l'instant où le piston libre, muni de son obturateur, déclenche sous l'influence de la pression.

Nous avons cherché à évaluer l'importance de cette cause de

retard en déterminant, dans les conditions ordinaires de nos expériences, la pression initiale nécessaire pour opérer ce déclenchement et la durée qui sépare l'origine de l'inflammation de ce fonctionnement.

A cet effet, on a déterminé, d'une part, la charge amorce minima de poudre de chasse extra-fine qui mettait en mouvement le piston pourvu de son obturateur et, d'autre part, la pression maximum produite par cette charge, en enregistrant la loi du mouvement d'un piston libre, sans obturateur, de masse et section connues. Cette pression a été trouvée de $39^{kg},6$ et $38^{kg},8$ dans deux expériences concordantes.

Ces nombres ont été vérifiés par une deuxième méthode, en comparant la valeur des pressions maxima fournies par la loi du mouvement de deux pistons libres, l'un muni d'obturateur, l'autre sans obturateur. Ces pressions correspondant à une même charge de poudre ont été trouvées de $65^{kg},15$ et $65^{kg},50$ avec l'un des pistons et de $22^{kg},6$ et $27^{kg},2$ avec l'autre. La différence des indications, soit 40^{kg}, représente le frottement de l'obturateur et ne diffère pas sensiblement de la valeur trouvée par l'autre méthode. Connaissant ainsi la pression minimum qui fait déclencher le piston, il restait à déterminer quelle était la durée qui séparait l'origine de la combustion de l'instant où cette pression était atteinte. Cet intervalle a été trouvé de $\frac{1}{1000}$ de seconde environ, dans une série de mesures relatives à la loi de développement des pressions produites par une charge-amorce de 1^{gr}, que nous avons employée dans un grand nombre d'expériences et qui donne lieu, dans une éprouvette de 22^{cc}, à une pression de 140^{kg}.

Détermination de la fin de la combustion. — On doit admettre que la fin de la combustion peut être confondue avec l'instant où la pression est maximum. Ceci suppose seulement que la combustion de l'explosif n'est pas suivie de réactions complémentaires capables d'accroître la pression d'une façon sensible. Les phénomènes de dissociation paraissent, en effet, peu importants sous les pressions considérables réalisées dans nos expériences, et les phénomènes de recomposition qui pourraient suivre seraient corrélatifs d'abaissements de température par refroidissement qui ne pourraient que prolonger le maximum de pression primitive-

ment atteint, sans le dépasser. On observe d'ailleurs des exemples d'arrêt brusque dans l'accroissement des pressions pour la combustion de certaines poudres spéciales, dont la surface de combustion reste sensiblement constante jusqu'à combustion complète, et ces cas particuliers suffisent à prouver l'absence de réactions complémentaires postérieures à la combustion proprement dite.

Nous avons indiqué, d'autre part, que, le piston ne possédant à la fin de sa course aucune accélération sensible, il y avait équilibre entre la résistance du cylindre et la pression intérieure et que, par suite, l'instant du maximum d'écrasement coïncidait avec l'instant du maximum de pression, confondu lui-même avec celui de la fin de la combustion.

Il reste donc à examiner les causes d'erreur de la détermination de l'instant du maximum d'écrasement.

Cette détermination consiste dans l'évaluation du point de contact de la courbe avec la tangente correspondant à la position finale de la plume.

Cette évaluation présente quelque incertitude en raison de l'ordre élevé du contact : les lectures au microscope permettent seulement de déterminer le point où l'on ne reconnaît plus d'épaississement appréciable du trait final. La précision de la lecture dépendra donc de la finesse de ce trait final, qui est en général plus épais que le trait du tracé proprement dit, parce qu'il a repassé un grand nombre de fois par la plume avant l'arrêt du cylindre tournant.

Dans les circonstances habituelles, l'épaisseur de ce trait atteint $\frac{2}{10}$ de millimètre, et l'on peut admettre que le tracé disparaît dans ce trait, alors que la pression continue à croître en écrasant encore le cylindre de $\frac{1}{20}$ de millimètre environ.

Il convient de rechercher quelle est la fraction de la charge dont la période de combustion se trouve ainsi négligée et quelles sont les précautions qui permettent de rendre l'erreur comparable dans les divers tracés.

Rappelons que, dans les limites où l'on maintient l'écrasement des cylindres crushers, la résistance de ces cylindres est donnée en kilogrammes par la formule

$$R = K_0 + K\varepsilon,$$

ε désignant l'écrasement en millimètres, K_0 et K deux constantes

égales à 549 et 535. Une erreur par défaut de $\frac{1}{20}$ de millimètre, dans l'estimation de l'ordonnée finale de la courbe, revient donc à négliger une phase de combustion dans laquelle la pression s'accroît de 26^{kg}.

On a vu que la fraction de la charge brûlée est donnée en fonction de la pression par l'expression

$$x = \frac{P\left(1 - \frac{\Delta_0}{\delta}\right)}{P_0(1 - \alpha\Delta_0) + P\Delta_0\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)};$$

on en déduit

$$dx = \frac{\left(\frac{1 - \Delta_0}{\delta}\right) P_0(1 - \alpha\Delta_0)\, dp}{\left[P_0(1 - \alpha\Delta_0) + P\Delta_0\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\right]^2}$$

et, pour $P = P_0$,

$$dx = \frac{(1 - \alpha\Delta_0)\, dp}{\left(1 - \frac{\Delta_0}{\delta}\right) P_0}.$$

D'ailleurs, en désignant par ω la section du piston,

$$dp = \frac{K\, d\varepsilon}{\omega},$$

d'où finalement

$$dx = \frac{1 - \alpha\Delta_0}{1 - \frac{\Delta_0}{\delta}} \frac{K\, d\varepsilon}{\omega P_0}.$$

On reconnaît que le premier facteur ne subit que des variations très faibles lorsque Δ_0 varie dans les limites des expériences : si donc on veut qu'à l'erreur de lecture $d\varepsilon$ de l'écrasement final, signalée plus haut, corresponde toujours une même fraction de la charge dont la combustion est négligée, on devra poser

$$\omega P_0 = \text{const.},$$

c'est-à-dire faire varier la section du piston dans le rapport inverse des pressions maxima, ce qui revient, en pratique, à maintenir les écrasements des cylindres crushers sensiblement égaux, quelle que soit la densité de chargement.

Cette condition assure, au même ordre d'approximation, l'identité des fractions brûlées pour les faibles pressions qui déterminent le premier écrasement : on a, en effet, pour la valeur de dx, cor-

respondant à une pression P très faible,

$$dx = \frac{1 - \frac{\Delta_0}{\delta}}{1 - \alpha\Delta_0} \frac{dp}{P_0},$$

dans laquelle le premier facteur est sensiblement constant.

La pression ωdp, qui détermine le premier écrasement du cylindre, étant constante, dx ne sera lui-même invariable que si ωP_0 ne varie pas.

En résumé, en choisissant pour les diverses densités de chargement des pistons dont les sections soient inversement proportionnelles aux pressions maxima, les erreurs commises en substituant, à l'origine et à la fin de la combustion, la détermination du début de l'écrasement et du raccordement final, sont entièrement comparables.

Dans des études comparatives, on pourra donc se dispenser de l'artifice du jeu initial du piston destiné à tenir compte de la première période de combustion de la poudre.

Ce point est important. On reconnaît, en effet, que cette première phase de combustion, qui précède l'écrasement du crusher et dont la durée peut être considérable par rapport à la durée de combustion totale, manque de régularité et mesure plutôt l'inflammabilité des poudres que leur lenteur de combustion véritable.

CHAPITRE II.

ÉTUDE DU MODE DE COMBUSTION DES MATIÈRES DE POUDRE NOIRE.

I. — PREMIÈRES DONNÉES QUALITATIVES CONCERNANT LE MODE DE COMBUSTION DES POUDRES USUELLES.

Nous nous sommes proposé d'appliquer tout d'abord les méthodes décrites dans le chapitre précédent à l'étude du mode de combustion des poudres noires usuelles.

Nous avons vu que le criterium du mode de combustion par

surfaces parallèles résultait de la comparaison des durées de combustion de charges constituées par une même matière, mise sous forme de grains de dimensions variables.

Il s'agissait donc d'obtenir des matières homogènes et identiques aux produits normalement utilisés dans le tir et dans lesquelles les charges puissent être découpées.

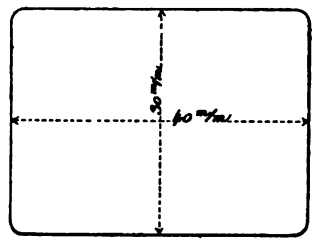
Les gros grains usités dans le tir des pièces de fort calibre nous ont paru fournir les matières premières les plus favorables à ce genre de recherches.

On évite ainsi les causes d'erreur qui pourraient résulter de l'étude de matières qui n'auraient pas subi la totalité des opérations de lissage, séchage, etc., dont le rôle sur le mode de combustion finale n'est pas exactement connu.

Les essais ont porté sur trois espèces de poudres :

1° Les poudres dites 30/40, formées de grains sensiblement

Fig. 9.



prismatiques à base carrée de 40^{mm} de côté et 30^{mm} de hauteur (*fig.* 9). Ces poudres, au dosage de 75 salpêtre, 10 soufre, 15 charbon, ont une densité de 1,820 environ. Elles résultent de l'agglomération à la presse hydraulique, sous forme de plaques, d'un mélange de grains et de poussier provenant de la trituration sous les meules des éléments.

2° Les poudres dites 26/34, qui ne diffèrent des précédentes que par les dimensions.

3° Les poudres prismatiques brunes, hexagonales, à canal intérieur.

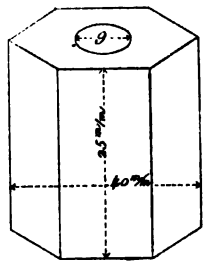
Ces poudres, dont le croquis ci-après (*fig.* 10) donne la forme et les dimensions, sont à faible dosage de soufre.

Les échantillons, d'origine allemande, dont nous avons fait usage présentaient un dosage voisin de 78-3-19 et provenaient des

poudreries de Rotweil-Hambourg (PRH) ou de Rhein-Westphalie (RWP).

Elles renferment un charbon spécial qui leur donne la couleur brune qui sert souvent à désigner ces poudres. Leur mode de fabrication diffère également de celui des poudres noires : les

Fig. 10.



prismes sont moulés à la presse individuellement et résultent de l'agglomération de grains sans mélange de poussier. Ces caractères s'appliquent également aux poudres brunes de fabrication française et à un échantillon chinois provenant des poudreries de Kiangnan près Shanghaï.

4° Des poudres prismatiques allemandes de même forme et de même fabrication que les précédentes, mais préparées avec des matières au dosage de guerre ordinaire 75-10-15 et du charbon noir.

Ces poudres fabriquées à Duneberg constituent les poudres les plus lentes reçues d'Allemagne en 1881. Leur densité était de 1,779.

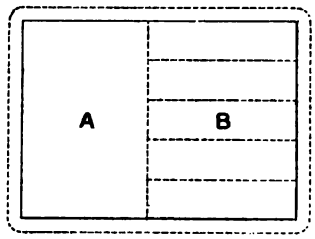
Préparation des échantillons. — Toutes les expériences ont été effectuées par couple de deux, aux densités de chargement 0,3 et 0,6, en opérant comparativement la combustion dans une même capacité close de deux charges de poids identiques, mais constituées par des éléments d'épaisseur variable, obtenus par le découpage à la scie d'un même grain.

Il importe, en effet, de remarquer que les poudres de guerre résultent du mélange d'échantillons dont les propriétés physiques et le mode de combustion ne sont pas toujours identiques, de telle sorte que des charges prises sur des grains différents peuvent

présenter des variations dans le mode de combustion, attribuables à d'autres causes que la modification des dimensions dont nous nous proposons de rechercher l'influence.

On a pris soin également, pour les grains du genre 26/34 et 30/40 qui ont subi l'opération du *lissage,* d'éliminer les croûtes extérieures du grain, qui sont artificiellement durcies et polies par une friction prolongée des grains les uns contre les autres, et

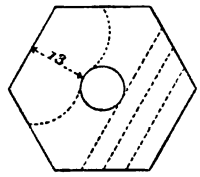
Fig. 11.



le découpage des charges a été opéré dans le prisme homogène ainsi constitué. Le croquis ci-joint (*fig.* 11) montre le contour du grain primitif, le premier décapage qu'il a subi et le mode de fragmentation qui fournissait les deux charges d'épaisseur variable à comparer.

Pour les poudres prismatiques, qui ne subissent pas de lissage, le premier décapage du grain a été supprimé. Les charges comparées consistaient en un bloc unique A, d'épaisseur minima

Fig. 12.



de 13^{mm}, et des plaquettes découpées parallèlement à l'axe dans la deuxième moitié du grain (*fig.* 12).

Dans un petit nombre d'expériences, le découpage de la deuxième moitié B du grain a été effectué de façon à former des blocs géométriquement semblables au bloc A; dans ce cas, les durées de combustion observées seraient rigoureusement dans le

rapport de similitude, si le fonctionnement par surfaces parallèles était réalisé.

Dans le plus grand nombre des essais, on s'est contenté de tailler dans la moitié B du grain des plaquettes présentant deux dimensions communes avec le gros bloc, mais une épaisseur beaucoup plus faible. Nous avons vu que, dans ce cas, le rapport des durées de combustion n'est pas rigoureusement celui des épaisseurs lorsque la combustion s'opère par couches parallèles et que l'aplatissement tend à accroître la durée de combustion de la charge la moins épaisse. Ce rapport reste toutefois de l'ordre de grandeur du rapport des épaisseurs et nous avons vu, par des exemples, dans quelle mesure il est modifié par des variations extrêmes de l'aplatissement.

L'incertitude de cette correction pourrait présenter quelques inconvénients si les matières soumises aux essais présentaient un mode de combustion voisin de celui qui s'opère par couches parallèles; mais les premiers résultats obtenus nous avaient montré que le fonctionnement réel des poudres usuelles est si éloigné de ce cas limite qu'il était sans intérêt de compliquer la préparation des expériences par l'observation rigoureuse de la similitude.

Les tableaux ci-après renferment les résultats de trente-six déterminations de durées de combustion effectuées par couple, sur des charges ainsi constituées, à diverses densités de chargement. On a rapproché de ces durées, dans un certain nombre de déterminations, la valeur de la tangente d'inflexion à la courbe de développement des pressions en fonction du temps, de façon à permettre une comparaison plus précise de l'allure générale de la combustion des diverses charges.

TABLEAU I.

NATURE de la poudre.	DENSITÉ de chargement.	CHARGE EN UN SEUL GRAIN. Numéro de l'expérience.	Épaisseur.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	CHARGE EN PLAQUETTES. Numéro de l'expérience.	Épaisseur.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.
			mm	ms	T		mm	ms	T
Poudre 30/40.	0,6 (3000kg)	176	19,4	6,31	»	177	11,25	6,24	»
		180	19,4	6,32	906	181	5,1	5,55	299,9(1)
Poudre 26/34.	0,6	484	18,0	8,88	1148	483	5,0	7,53	1036 (2)
	0,3 (1200kg)	555	19,0 sphérique.	12,28	302	556	3,9	9,86	193,7
		557	19,0 sphérique.	8,33	321,5	558	4,0	8,09	253,1(2)
Poudre PRH..	0,6 (3000kg)	75	13,0	12,01	»	74	6,0	12,01	»
		79	13,0	25,19	»	78	6,0	23,23	»
		81	13,0	12,67	248,5	80	4,1	11,69	250,1
		82	13,0	23,75	»	83	4,0 103 grains.	16,55	»
Poudre RWP.	0,6 (3000kg)	88	13,0	14,08	»	89	5,2	13,41	»
		93	13,0	13,85	243,6	92	2,0	13,30	241,9(3)
		485	13,0	20,36	309,5	486	5,0	18,39	303,4
	0,3 (1200kg)	488	13,0	19,60	»	489	5,0	20,78	»
		528	13,0	21,15	»	529	5,0	22,27	» (4)
Poudre prismatique brune française. Echantillon 7 *bis*. Sevran.....	0,6	95	13,0	23,27	185	96	6,0	27,09	149
Poudre prismatique noire de Duneberg.....	0,6	322	13,0	11,05	»	328	6,4	10,42	» (5)
		325	13,0	9,96	»	329	5,1	9,30	» (5)
		326	13,0	8,49	»	330	5,0	8,21	» (5)

OBSERVATIONS :

(1) Durées comptées depuis l'origine de l'écrasement. Pression initiale de 100kg.
(2) Durées comptées depuis l'origine de l'inflammation.
(3) Durées de combustion comptées depuis l'origine de l'écrasement du cylindre.
(4) Durées de combustion comptées depuis l'origine de l'inflammation.
(5) Durées de combustion comptées depuis l'origine de l'écrasement du cylindre.

TABLEAU II.

Comparaison de charges géométriquement semblables.

NATURE de la poudre.	DENSITÉ de chargement.	CHARGE EN UN SEUL GRAIN.				CHARGE EN GRAINS MULTIPLES.				RAPPORT de similitude.
		Numéro de l'expérience.	Épaisseur minima.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Numéro de l'expérience.	Épaisseur minima.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	
Poudre prismatique brune chinoise (1).	0,6	1548	mm 12,41	ms 15,86	T 254,4	1549	mm 6,20	ms 16,04	T 248,8	2,0
Poudre 30/40..	0,4	1516	13,52	7,64	498	1517	6,73	7,95	459,8	2,0
Poudre 26/34..	0,6	786	15,30	10,56	212,5	787	4,08	8,86	206,8	3,7
Poudre PRH..	0,6	82	13,00	23,75	»	83	4,00	16,55	»	3,2

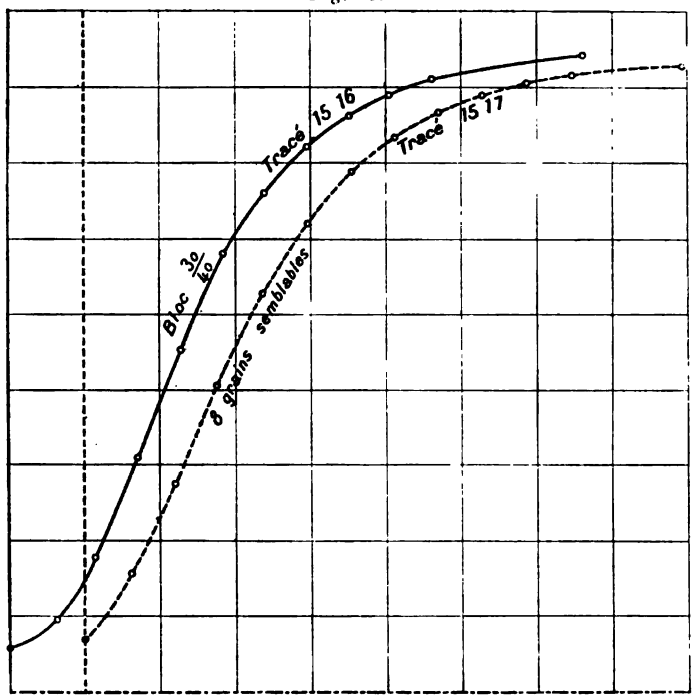
(1) Provenant des poudreries de Kiangnan, près Shanghaï.

Le fait fondamental qui se dégage de ces comparaisons est que la durée de combustion des matières servant à la fabrication des poudres noires ou brunes actuelles est sensiblement indépendante de leur épaisseur et que, par suite, *ces matières ne brûlent pas par couches concentriques.*

Les expériences du tableau II, relatives à la comparaison de charges géométriquement semblables montrent que la réduction à moitié des dimensions linéaires des grains est restée sans effet sur la durée de combustion des poudres les plus diverses, comme sur la valeur des $\frac{dp}{dt}$ M. Les légères variations observées sont même dans le sens inverse de celui qu'on aurait pu attendre. D'ailleurs, les diagrammes ci-après (*fig.* 13) de la loi de développement des pressions fournies par les deux tracés 1516, 1517 montrent l'identité presque complète des lois de combustion, dès la fin de la période d'inflammation, correspondant au premier écrasement du cylindre de cuivre; c'est donc seulement dans la durée de cette période d'inflammation que l'influence des surfaces initiales d'émission peut se faire sentir. Dans les deux derniers couples d'expériences, la similitude n'était pas rigoureuse, les grains multiples étant

cubiques et le grain unique formant un bloc sensiblement aplati, de telle sorte que le rapport des durées de combustion dans le fonctionnement par couche parallèle eût dû être légèrement supé-

Fig. 13.



Échelle { Abscisses 10^{mm} pour $\frac{1}{1000}$ de seconde. Ordonnées 10^{mm} pour 200^{km}.

rieur au rapport des épaisseurs 3,7 et 3,2. Ces durées ne diffèrent en réalité que de 1/7 et 1/4.

Les expériences beaucoup plus nombreuses du tableau I donnent lieu aux observations suivantes :

Pour les matières des poudres 30/40 ou 26/34, les épaisseurs étant réduites dans le rapport de 1 à 3,5 ou 4, les durées de combustion n'ont varié que de 1/7 à 1/8 de leur valeur.

Ce mode de fonctionnement n'est pas spécial à la combustion sous les pressions élevées correspondant à la densité 0,6, car sous les pressions trois fois moindres, obtenues à la densité 0,3. la durée de combustion s'est encore montrée sensiblement indépendante de l'épaisseur.

C'est ainsi que, pour la poudre 26/34 brûlant à la densité 0,3, les épaisseurs ont varié dans le rapport considérable de 1 à 5, en n'entraînant qu'une altération de 1/6 à 1/9 dans les durées de combustion.

Cette indépendance des durées de combustion et des épaisseurs s'accentue encore pour les poudres brunes.

La poudre PRH brûlant à la densité 0,6 sous l'épaisseur de 4^{mm} a donné une durée de combustion inférieure de 1/12 seulement à la durée de combustion d'un grain d'épaisseur plus que triple, soit 13^{mm}. Pour la poudre RWP, on a pu réduire à 2^{mm} l'épaisseur des plaquettes sans que la durée de combustion différât sensiblement de celle du bloc de 13^{mm}, alors que, dans le cas d'une combustion par couches parallèles, les durées observées eussent dû, même en tenant compte de l'influence de l'aplatissement, varier dans le rapport de 1 à 4 ou 5.

Enfin, cette identité approchée des durées de combustion ne résulte pas de phénomènes de compensation tenant à des différences dans le mode de combustion initial. La même identité subsiste, que l'on compte les durées dès l'origine de l'inflammation ou bien à partir du premier écrasement du cylindre de cuivre sous une pression initiale d'une centaine d'atmosphères.

La comparaison des valeurs des tangentes d'inflexion, relevées dans les couples d'expériences comparatives, conduit de même à conclure à la presque identité des lois de développement des pressions fournies par la combustion des mêmes matières sous les épaisseurs les plus différentes, de telle sorte que les tracés sont pour ainsi dire superposables dans chaque couple d'expériences.

Les différences les plus sensibles observées pour la poudre 26/34, à la densité 0,3, se présentent même dans le sens inverse de celui qu'entraînerait une combustion par couches concentriques. Ce sont les blocs de grande épaisseur qui fournissent une émission maxima plus intense que les plaquettes minces, et il ne paraît pas possible de concevoir un tel fonctionnement sans admettre une dislocation générale du grain en éléments dont les surfaces d'émission n'ont aucun rapport avec les dimensions primitives des solides constituant la charge. Nous étudierons plus loin, avec plus de détails, ce mode de combustion, nous bornant à conclure, de cette première série d'expériences, que les matières constituant

les poudres usuelles, noires ou brunes, ne brûlent pas par couches parallèles sous les pressions comparables à celles qui sont réalisées dans les bouches à feu et que leur loi d'émission reste, dans des limites étendues, sensiblement indépendante de l'épaisseur et de la forme des grains.

II. — MODE DE COMBUSTION DES MATIÈRES COMPACTES.

La fabrication des poudres usuelles, sur lesquelles ont porté nos premiers essais, comporte, ainsi que nous l'avons dit, l'agglomération à la presse, soit de mélanges hétérogènes de grains et de poussier, soit de grains réguliers de dimensions relativement considérables; et, bien que ces matières présentent à la cassure une texture en apparence continue et régulière, il y avait lieu de penser, en présence des résultats qui précèdent, que la soudure des éléments entre eux n'était pas absolue.

Préparation de matières compactes. — Nous nous sommes proposé de constituer, à l'aide des mêmes matières premières, des poudres réellement compactes et continues et d'étudier la loi de leur combustion dans les conditions précédemment décrites.

A cet effet, les poudres des différents types étaient pulvérisées à sec au mortier. Le poussier était tamisé à la gaze de soie, pour enlever toute trace de grain, et ce poussier était comprimé à sec à la presse hydraulique, dans un moule cylindrique en acier, sous forme de blocs ou pastilles de 20^{mm} de diamètre, dont les hauteurs ont varié de $1^{mm},7$ à 80^{mm}.

Ce mode d'agglomération à sec exige, pour une même densité finale, l'emploi de pressions beaucoup plus élevées que la compression des matières humides généralement usitées dans la fabrication des poudreries, mais il a l'avantage de supprimer un séchage qui entraîne forcément une modification de la structure du grain.

Vitesses limites de combustion. — La mesure des durées de combustion de cylindres ainsi préparés montre immédiatement que ces durées dépendent, pour une même épaisseur, de la densité à laquelle la matière a été amenée par compression; mais les vitesses moyennes de combustion, lorsque la densité s'élève, ten-

dent rapidement vers une valeur limite que les plus hautes compressions réalisables dans des moules en acier ne modifient plus d'une façon sensible.

Les tableaux suivants donnent les résultats obtenus avec les matières RWP et 30/40, répondant aux deux types principaux des poudres brunes et noires.

On a étudié l'influence de la compression sur la vitesse de combustion à la densité 0,6, en opérant sur trois types de cylindres de 3^{mm}, 10^{mm} et 20^{mm} d'épaisseur environ. Dans chaque expérience, on déterminait au mercure la densité des cylindres mêmes sur lesquels portaient les essais.

Les charges étaient composées, soit de 6 pastilles de 3^{mm} d'épaisseur, soit de deux blocs de 10^{mm}, soit d'un bloc de 20^{mm}.

Nous donnons à titre de renseignement, dans le tableau III, les pressions sous lesquelles les densités ont été obtenues. Les durées observées correspondent à la période comprise entre le premier écrasement du cylindre et la fin de la combustion.

TABLEAU III.

Cylindres de 3^{mm} à 4^{mm} de hauteur.

NUMÉRO de l'expérience.	PRESSION d'agglomération (en kilogrammes par centimètre carré).	DENSITÉ au mercure.	HAUTEUR des cylindres.	DURÉES de combustion (en milliseconde).	VITESSE moyenne de combustion (en centimètres par seconde).
		MATIÈRE RWP.			
113	600	1,589	mm 4,00	3,51	cm 57,00
117	1200	1,825	3,75	27,25	6,88
115	1800	1,899	3,40	30,05	5,66
100	3600 compress. rapide	»	3,35	28,96	5,78
108	3600 compress. lente	1,927	3,35	31,82	5,26
		MATIÈRE 30/40.			
200	1200	1,813	mm 3,45	18,09	cm 9,54
197	1800	1,873	3,40	20,35	8,35
194	2400	1,913	3,35	19,58	8,55
203	3600	1,913	3,30	20,68	7,98

TABLEAU IV.

Cylindres de 9^{mm} *à* 10^{mm} *de hauteur.*

NUMÉRO de l'expérience.	DENSITÉ au mercure.	HAUTEUR des cylindres.	DURÉES de combustion (en millisecondes).	VITESSES moyennes de combustion.	OBSERVATIONS.
		MATIÈRE RWP.			
		mm	ms	cm	
114	1,553	12,15	3,32	183,00	
118	1,761	10,80	18,60	29,03	
116	1,853	10,15	72,67	6,98	
102	1,900 environ	9,70	74,74	6,49	
99	1,900 environ compress. rapide	10,00	76,88	6,50	
109	1,927 compression lente	9,75	76,75	6,35	
		MATIÈRE 30/40.			
		mm	ms	cm	
199	1,781	10,35	25,71	20,13	
196	1,833	10,10	53,08	9,51	
193	1,900	9,65	54,64	8,83	
202	1,915	9,55	59,30	8,05	

TABLEAU V.

Cylindres de 19^{mm} *à* 20^{mm}.

NUMÉRO de l'expérience.	DENSITÉ au mercure.	HAUTEUR des cylindres.	DURÉES de combustion.	VITESSES moyennes de combustion.	OBSERVATIONS.
		MATIÈRE 30/40.			
		mm	ms	cm	
198	1,735	21,35	26,07	40,94	
195	1,823	20,30	70,72	14,35	
192	1,904	19,50	80,38	12,13	
201 *bis*	1,915	19,30	79,29	12,17	
201	1,905	19,25	77,29	12,45	

L'examen des diverses séries conduit à la même conclusion : la vitesse de combustion décroît d'abord avec une extrême rapidité.

lorsque la densité augmente; mais, à partir d'une valeur de cette densité voisine de 1,850, la vitesse de combustion prend une valeur limite que les plus fortes compressions ne modifient plus d'une façon sensible, alors que la densité des matières s'élève au delà de 1,920, c'est-à-dire jusqu'à des valeurs voisines de la densité absolue des éléments de la poudre.

Combustion par couches parallèles. — En même temps que la constance de la vitesse de combustion, nous voyons apparaître une propriété caractéristique de la matière continue : c'est la proportionnalité approchée des durées de combustion aux épaisseurs et, par suite, le mode de combustion par couches parallèles.

Tandis que, pour les matières utilisées dans la fabrication des poudres usuelles, nous avons pu faire varier, pour une même substance, les épaisseurs dans le rapport de 1 à 6,5, avec une variation insignifiante de la durée de combustion, nous observons, pour les matières de chaque type, amenées à des densités supérieures à 1,850, des durées sensiblement proportionnelles aux épaisseurs, d'où résulte une vitesse moyenne de combustion sensiblement constante.

C'est ce que montre le tableau suivant, dans lequel nous rapprochons des résultats précédemment mentionnés quelques déterminations isolées, qui n'ont pas trouvé place dans les tableaux précédents.

TABLEAU VI.

DENSITÉS.	HAUTEUR des cylindres.	DURÉES de combustion.	VITESSES de combustion.
		MATIÈRE 30/40.	
	mm	ms	cm
1,900	1,7	11,00	7,92
	3,4	20,00 (valeur moyenne)	8,50
	9,6	56,00 »	8,57
	19,3	79,00 »	12,20
		MATIÈRE RWP.	
	mm	ms	cm
1,900	3,4	30,00 (valeur moyenne)	5,70
	9,6	76,00 »	6,30
	19,1	107,00 »	8,90

On peut, comme nous l'avons fait pour les matières des poudres usuelles, montrer que l'influence de la première période de combustion n'altère en rien ces vérifications. Les nombres contenus dans le tableau suivant correspondent à une nouvelle série d'expériences dans lesquelles les durées totales de combustion ont été évaluées depuis l'origine de l'inflammation, en recourant à la méthode de déclenchement initial du piston, sous l'influence d'une charge amorce convenable.

TABLEAU VII.

DENSITÉS.	HAUTEUR des cylindres.	DURÉES de combustion.	VITESSE moyenne de combustion.		NUMÉRO de l'expérience.
		MATIÈRE RWP.			
Supérieures à 1,900. Compression 3600^{kg} par centimètre carré.	mm 3,4	ms 38,25	cm 4,44	cm 4,36	491
		39,58	4,29		480
	10,0	92,09	5,65	5,54	481
		95,52	5,44		490
	20,0	128,86	7,79	7,67	482
		133,12	7,55		489
		MATIÈRE POUDRE DE CHASSE EXTRAFINE.			
Supérieures à 1,900. Compression 3600^{kg} par centimètre carré.	mm 3,4	ms 18,21	cm 9,33	cm 9,45	550
		17,76	9,58		554
	10,0	47,08	10,83	10,85	553
		46,86	10,88		549
	20,0	64,50	15,58	15,07	552
		67,51	14,88		548
		68,10	14,76		551

Les épaisseurs ont pu varier dans le rapport de 1 à 6 pour les matières 30/40, de 1 à 3 pour les matières de poudre RWP ou de poudre de chasse, avec des modifications peu importantes de la vitesse moyenne de combustion. Ces variations ne deviennent

sensibles que pour les cylindres de grande hauteur. Le sens de la variation est d'ailleurs celui que l'on devait attendre de la comparaison d'éléments qui ne sont pas géométriquement semblables et dont l'aplatissement va en diminuant.

Nous avons discuté, dans un chapitre précédent, la nature et l'ordre de grandeur des variations de la durée de combustion de grains présentant des différences importantes dans l'aplatissement. L'écart de 30 pour 100, obtenu par expérience directe entre les durées de combustion de matières compactes cubiques et des matières présentant l'aplatissement du $\frac{1}{6}$, est précisément celui que l'on observe entre les vitesses de combustion des blocs cylindriques de $20^{mm} \times 20^{mm}$, assimilables à des grains cubiques et des pastilles de $3^{mm},40$, dont l'aplatissement est de $\frac{1}{6}$ environ.

Voici d'ailleurs, dans le tableau suivant, les résultats obtenus dans la comparaison des durées de combustion de charges géométriquement semblables.

TABLEAU VIII.

MATIÈRE DE POUDRE 30/40.

Densité supérieure à 1,900. *Compression* 3600^{kg} *par centimètre carré.*

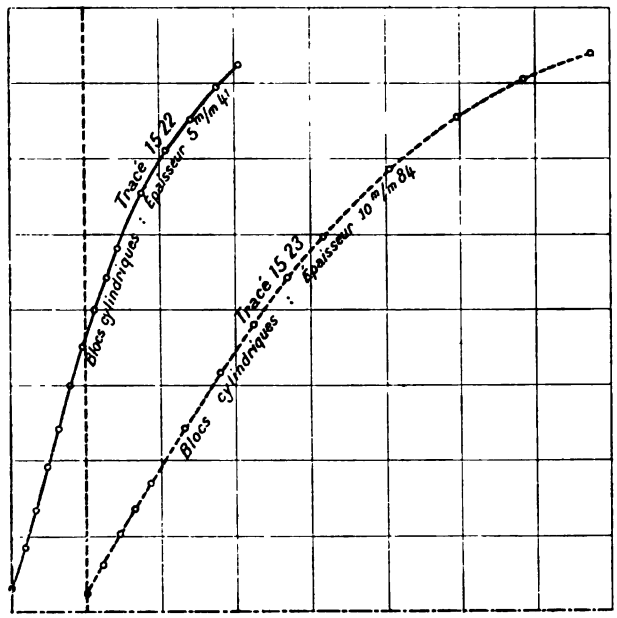
DENSITÉ de chargement.	NUMÉRO de l'expérience.	FORMATION de la charge.	DURÉES de combustion.	VITESSE moyenne de combustion.	$\frac{dp}{dt}_{M.}$	PRESSIONS maxima.
			ms	cm	T	kg
0,3	1521	Charge formée de 1 bloc cylindrique : $d = 20^{mm},00$, $h = 10^{mm},66$.	87,4	6,10	20,3	1051
	1520	Charge formée de 8 blocs cylindriques : $d = 10^{mm},00$, $h = 5^{mm},35$.	40,0	6,67	42,7	1186
	1523	Charge formée de 2 blocs cylindriques : $d = 20^{mm},00$, $h = 10^{mm},84$.	70,5	7,69	70,0	2950
0,6	1522	Charge formée de 16 blocs cylindriques : $d = 10^{mm},00$, $h = 5^{mm},41$.	32,4	8,34	136,1	2926

La proportionnalité directe ou inverse très approchée des durées de combustion et des $\frac{dp}{dt}$ maxima aux épaisseurs montre que ces matières brûlent par surfaces parallèles, et il est facile de vérifier, par la lecture complète des tracés, que les lois de développement des pressions en fonction du temps ne diffèrent, comme l'indique la théorie, que par l'échelle des temps, qui se trouve réduite dans le rapport de similitude. C'est ce que montrent les diagrammes ci-après, relatifs aux expériences **1523**, **1522**.

Nous terminerons ce chapitre par les deux remarques suivantes, qui seront développées ultérieurement :

1° A épaisseur et densité égales, les diverses matières com-

Fig. 14.



Combustion des matières compactes.

Échelle { Abscisses 1^{cm} pour $\frac{10}{1000}$ de seconde. / Ordonnées 1^{cm} pour 400^{km}.

pactes présentent des vitesses de combustion variables dans de larges limites, la matière de poudre de chasse extrafine brûlant deux fois plus vite que la matière de poudre brune RWP.

2° L'influence de la pression sur la vitesse de combustion de

matières compactes est faible. D'après les résultats contenus dans le tableau ci-contre, entre les pressions maxima de 1000^{kg} et de 3000^{kg}, les vitesses moyennes de combustion de matières identiques varient à peine comme la puissance $\frac{1}{4}$ de la pression et les $\frac{dp}{dt}$ maxima comme la puissance 1,25.

L'ensemble des résultats qui précèdent montre que le mode de combustion des explosifs par couches parallèles, sous les pressions élevées, doit être considéré comme un mode de fonctionnement limite qui n'appartient qu'aux matières amenées à une continuité presque parfaite.

Loin d'être le mode général de combustion des explosifs balistiques sous leurs formes usuelles, comme l'admettait Piobert, le mode de combustion par couches concentriques est exceptionnel et n'est réalisé par aucun des types de poudres noires ou brunes que nous avons pu étudier.

CHAPITRE III.

INFLUENCE DE LA COMPRESSION SUR LE MODE DE COMBUSTION DES MATIÈRES PULVÉRULENTES OU GRENÉES.

I. — ROLE DE L'AGGLOMÉRATION DANS LA COMBUSTION DES POUDRES USUELLES.

Il résulte, des faits constatés dans le chapitre qui précède, que les matières utilisées dans la fabrication des poudres noires ou brunes ne fonctionnent pas comme matières compactes, et que la variation de leurs dimensions extérieures n'influe dans des limites étendues que d'une façon tout à fait secondaire sur la durée de leur combustion.

Il y a donc lieu de rechercher quel est l'élément qui règle cette durée.

Nous avons vu que ces matières résultent de l'agglomération sous pression de grains élémentaires employés soit seuls, comme dans la fabrication des poudres brunes, soit mélangés avec du poussier, comme dans la fabrication des poudres noires.

Il est évident que, si l'agglomération est très faible et si la densité de la matière finale est moindre que celle des matières élémentaires, les interstices subsistant dans la masse permettront à l'inflammation de se propager presque immédiatement jusqu'au centre du grain, qui fonctionnera sensiblement comme les éléments séparés dont il se compose. Dans ce cas, la durée de combustion de la masse ne différera pas de celle des matières élémentaires et l'indépendance des durées de combustion et des épaisseurs sera forcément réalisée.

Mais tel n'est pas le cas des poudres généralement employées dans l'artillerie, dont la densité est supérieure à celle des matières élémentaires.

Il est facile de reconnaître que la durée de combustion de ces matières est fort différente de celle du grain élémentaire qui a servi à les former, bien que cette durée de fonctionnement soit sensiblement indépendante de l'épaisseur, ainsi que nous l'avons montré.

Un exemple très net du rôle de la compression résulte des déterminations suivantes effectuées sur une poudre brune fabriquée à Sevran (échantillon 7 *bis*), pour laquelle nous avons pu étudier à la fois le grain élémentaire et le grain moulé.

Le tableau suivant permet de comparer entre elles les durées de combustion à la densité de chargement 0,6 :

1° Du grain élémentaire (compris entre 2 et 6^{mm});

2° D'un bloc secteur, de 13^{mm} d'épaisseur minima, découpé dans un grain prismatique moulé;

3° De plaquettes de 6^{mm} d'épaisseur, sciées dans le grain même qui avait fourni le secteur.

TABLEAU IX.

Échantillon 7 bis, $\Delta = 0,6$.

GRAINS DE 2 A 6^{mm}.		PLAQUETTES DE 6^{mm}.		SECTEUR DE 13^{mm}.	
Numéro de l'expérience.	Durée observée.	Numéro de l'expérience.	Durée observée.	Numéro de l'expérience.	Durée observée.
	ms		ms		ms
94	12,34	96	27,09	95	23,27
98	13,61				

On voit que la durée de combustion du grain moulé est devenue sensiblement double de celle du grain élémentaire, bien que cette durée reste indépendante de l'épaisseur.

Des observations analogues s'appliquent à toutes les poudres prismatiques brunes actuellement réglementaires, telles que PB_1, PB_2, PB_3, ainsi qu'il résulte de la comparaison des éléments caractéristiques des tracés obtenus par la combustion du grain élémentaire et du grain moulé prélevés simultanément à la presse.

TABLEAU X.

Densité de chargement 0,6.

NATURE DE LA CHARGE.		NUMÉRO de l'expérience.	DURÉE de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.
			ms	
Poudre PB_1.	Grain élémentaire de 1mm,4 à 3mm.	996	10,63	626,7
		1000	9,91	589,7
	Bloc découpé dans le grain moulé, épaisseur minima 13mm.	997	16,26	364,8
		998	13,02	385,4
Poudre PB_3.	Grain élémentaire de 0mm,8 à 1mm,4	993	5,81	1031,0
		999	5,93	1134,0
	Bloc, épaisseur minima 13mm	994	18,20	509,3
		995	12,97	590,2
Poudre PB_2.	Grain élémentaire de 1mm,4 à 3mm	991	9,17	624,8
		992	7,73	715,9
	Bloc, épaisseur minima 13mm	989	16,27	301,1
		990	17,34	309,6

Le mode de fonctionnement des poudres usuelles est donc intermédiaire entre celui des grains simplement juxtaposés et celui des matières compactes que nous avons étudiées.

Nous avons cherché à préciser l'influence de la compression en suivant méthodiquement les modifications qu'éprouve la durée de combustion de matières pulvérulentes ou grenées, lorsqu'on les agglomère par des compressions de plus en plus fortes.

Pour mettre en évidence le passage entre le fonctionnement

sensiblement indépendant de l'épaisseur qui correspond aux compressions les plus faibles et le fonctionnement des matières compactes, dont les durées de combustion sont proportionnelles aux épaisseurs, nous avons comparé, pour chaque degré de compression, les durées de combustion de matières présentant des épaisseurs très différentes, variant du simple au double ou du simple au triple.

Dans une série d'expériences, les essais ont été effectués aux deux densités de chargement 0,3 et 0,6, de façon à mettre en évidence le rôle de la pression maxima sous laquelle s'opère la combustion.

II. — PREMIÈRE SÉRIE. — AGGLOMÉRATION DES MATIÈRES PULVÉRULENTES.

Nous avons utilisé les matières de poudre brune RWP. Ces matières, râpées et tamisées à la gaze de soie, étaient agglomérées à sec par compression à la presse hydraulique, dans un moule en acier précédemment décrit. On obtenait ainsi des pastilles de 20^{mm} de diamètre et de $3^{mm},50$ de hauteur environ et des blocs, de poids triple, de $10^{mm},50$ de hauteur : 6 pastilles ou 2 blocs de même densité constituaient une charge à la densité de chargement 0,6; 3 pastilles ou 1 bloc permettaient d'effectuer les expériences comparatives à la densité de chargement 0,3.

Les sections des pistons employés pour la mesure des pressions étaient calculées de façon à fournir des écrasements peu différents, de manière à rendre les tracés comparables : piston de $\frac{1}{2}$ centimètre carré à la densité 0,6 et de $1\frac{1}{3}$ centimètre carré à la densité 0,3.

Les écrasements ont été portés à $3^{mm},5$ et 4^{mm} par l'emploi de cylindres de cuivre semblables aux cylindres réglementaires, mais à section réduite de moitié $\left(\text{rapport de similitude } \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$.

Le tableau suivant renferme les résultats des essais.

TABLEAU XI

Matière RWP *tamisée à la gaze de soie et agglomérée à sec.*

DENSITÉ des matières.	BLOCS DE $10^{mm},50$.					PASTILLES DE $3^{mm},50$.				
	DURÉES DE COMBUSTION.					DURÉES DE COMBUSTION.				
	Épaisseur.	Numéro de l'expérience.	Densité de chargement 0,6.	Numéro de l'expérience.	Densité de chargement 0,3.	Épaisseur.	Numéro de l'expérience.	Densité de chargement 0,6.	Numéro de l'expérience.	Densité de chargement 0,3.
1,922	10,44	760	ms 98,07	764	ms 125,0	3,51	635	ms 36,87	636	ms 45,88
						3,53	756	38,29 } 37,58	758	46,46 } 46,17
1,785	11,19	755	87,95	757	110,10	3,70	733	35,68	735	46,50
	11,19	732	86,31 } 87,13	734	107,50 } 108,80					
1,760	11,47	747	48,33	749	74,57	3,82	637	32,39	638	44,74
						3,82	748	31,84 } 32,12	750	39,53 } 42,13
1,724	11,65	742	18,45	744	28,78	3,88	591	14,80 (1)	745	23,46
		746	16,28 } 17,36							
1,635	12,09	751	5,22	753	12,01	4,03	752	5,54	754	8,48
						4,09	641	5,33 } 5,43	642	9,00 } 8,74
Poussier tamisé $\delta = 0,645$									730	5,97
									731	7,25 } 6,61

(1) Valeur empruntée à une autre série d'expériences.

Fig. 15.

PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Influence de la densité, de l'épaisseur et de la pression.

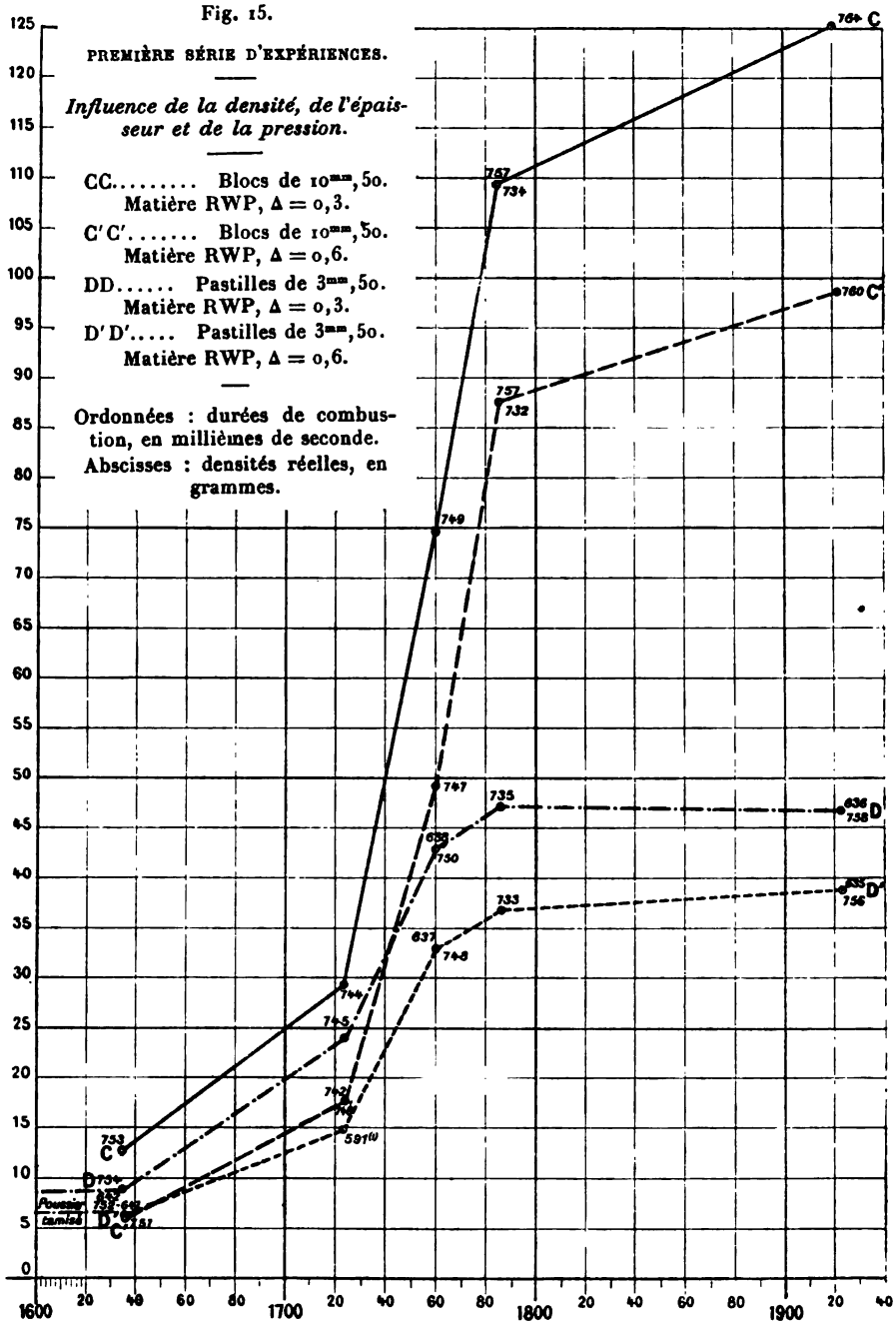
CC..... Blocs de $10^{mm},50$.
Matière RWP, $\Delta = 0,3$.

C'C'..... Blocs de $10^{mm},50$.
Matière RWP, $\Delta = 0,6$.

DD..... Pastilles de $3^{mm},50$.
Matière RWP, $\Delta = 0,3$.

D'D'..... Pastilles de $3^{mm},50$.
Matière RWP, $\Delta = 0,6$.

Ordonnées : durées de combustion, en millièmes de seconde.
Abscisses : densités réelles, en grammes.



Les résultats de ces déterminations, au nombre de 31, sont représentés par les diagrammes ci-dessus (*fig.* 15), dont les abscisses représentent les densités réelles des pastilles et les ordonnées les durées de combustion.

Ces quatre courbes présentent une allure commune.

On voit qu'aux faibles densités, jusqu'à la valeur de 1,720 environ, la durée de combustion est sensiblement indépendante de l'épaisseur, que la combustion s'opère à la densité de chargement 0,3 sous la pression maximum de 1200^{kg} ou à la densité de chargement 0,6 sous des pressions atteignant 3000^{kg}. Cependant, cette durée de combustion s'élève lentement jusqu'à quatre fois la durée de combustion du poussier élémentaire; puis, brusquement, entre les densités de 1,720 et de 1,800, l'influence de l'épaisseur se dessine nettement et les durées de combustion s'accroissent avec une extrême rapidité, en tendant vers les limites caractéristiques des matières compactes, c'est-à-dire sensiblement proportionnelles aux épaisseurs.

Ce mode d'action de la compression n'est point particulier à la matière des poudres brunes. Le même fonctionnement s'observe sur les matières de poudre noire réduites à l'état de poussier.

III. — SECONDE SÉRIE.

Les tableaux suivants renferment les résultats d'expériences comparatives analogues aux précédentes, effectuées sur les matières des poudres brunes RWP et des poudres noires $\frac{26}{34}$.

Ces essais n'ont porté, toutefois, que sur un seul type de pastilles de 20^{mm} de diamètre, pesant $2^{gr}, 12$, et dont les hauteurs variaient en raison inverse des densités. Ces expériences diffèrent des précédentes en ce qu'elles permettent de suivre d'une façon plus étendue l'influence des agglomérations les plus faibles. Les tracés obtenus par l'emploi des cylindres de cuivre réglementaires $\frac{13}{8}$ étaient moins amplifiés que les précédents et conduisent, ainsi que nous l'avons vu dans la discussion des causes d'erreur dans la détermination des durées de combustion, à des valeurs de durées un peu plus faibles que celles qui ont été rapportées plus haut. Mais il est important de vérifier que ces causes d'erreur, qui

influent de la même façon sur tous les résultats comparés, ne modifient en rien les conclusions générales que nous avons tirées de la première série d'expériences.

Les diagrammes ci-après (*fig.* 16), qui résument graphiquement les résultats de 59 expériences, rendent compte de l'influence de la compression sur les durées de combustion.

TABLEAU XII.

Matière RWP *tamisée à la gaze de soie et agglomérée à sec.*

Pastilles de poids constant $2^{gr},12$ et de même diamètre 20^{mm}.

PRESSION d'agglomération.	DENSITÉ des pastilles.	ÉPAISSEUR.	DURÉES TOTALES DE COMBUSTION (en millièmes de seconde).				RAPPORT des durées observées aux densités 0,3 et 0,6.
			Numéro de l'expérience.	Densité 0,6 (pression max. 3200kg).	Numéro de l'expérience.	Densité 0,3 (pression max. 1300kg).	
kg		mm					
3600	1,922	3,48	508	34,32	516	44,52	
			510	34,31	517	42,17	
			562	35,86	563	44,78	
			564	33,82	565	42,99	
				34,58		43,61	1,26
1800	1,889	3,54	604	35,55	605	41,71	1,18
1100	1,868	3,58	610	33,93	611	43,80	1,29
1000	1,781	3,75	566	30,11	567	37,68	
			586	28,98	587	40,88	
				29,55		39,28	1,32
960	1,760	3,80	572	29,65	573	34,90	
			579	27,85	580	33,77	
				28,75	582	34,28	
						34,32	1,19
725	1,737	3,85	589	25,80	590	30,52	1,18
720	1,724	3,88	591	14,80	592	23,35	1,57
715	1,719	3,90	577	6,70	578	15,30	
			583	5,88	584	16,17	
				6,29		15,74	2,50
700	1,685	3,97	612	4,63	613	12,03	2,58
680	1,651	4,05	593	4,67	594	8,30	1,77
480	1,548	4,32	602	2,36	603	5,74	2,43
360	1,441	4,64	622	2,22	623	5,23	2,36
60	1,029	6,50	648	3,14	649	6,45	2,06
Poussier tamisé.....			650	3,01	656	5,85	1,94

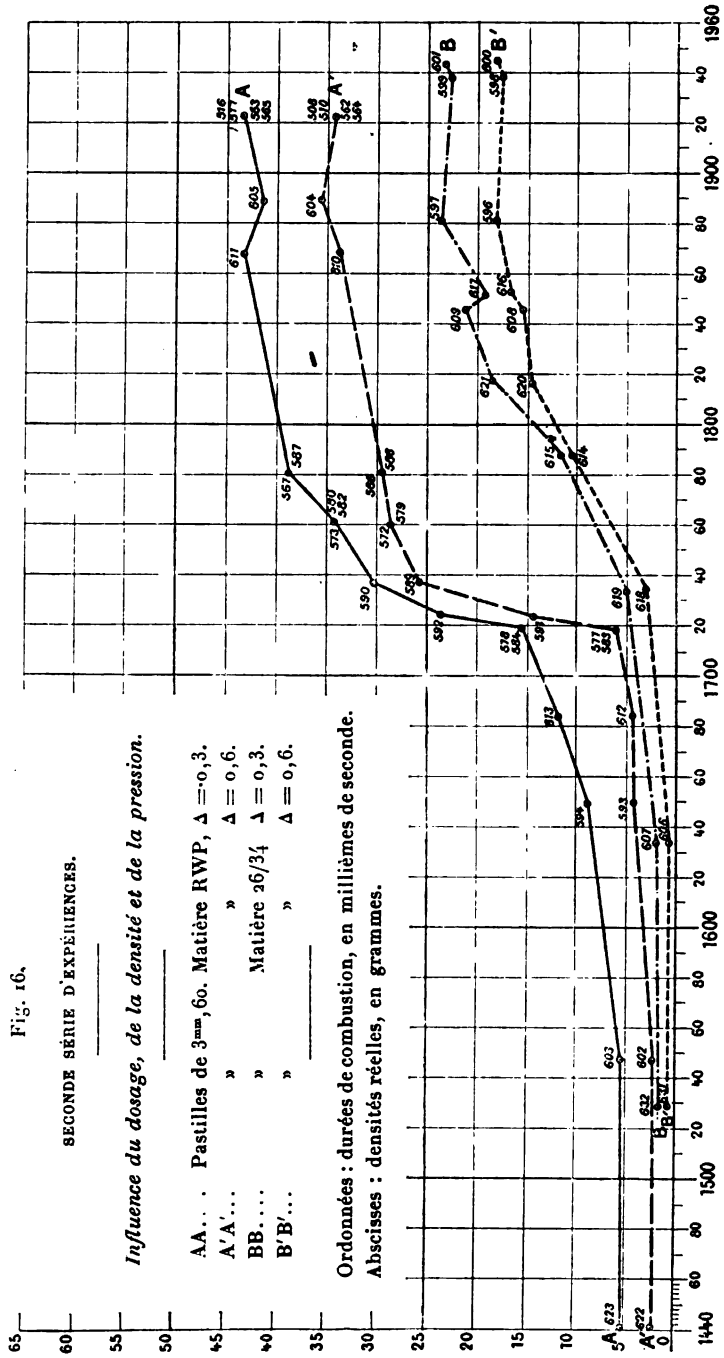


Fig. 16.

SECONDE SÉRIE D'EXPÉRIENCES.

Influence du dosage, de la densité et de la pression.

AA... . Pastilles de 3mm,60. Matière RWP, Δ =0,3.
A'A'... » » Δ = 0,6.
BB.... » Matière 26/34 Δ = 0,3.
B'B'... » » Δ = 0,6.

Ordonnées : durées de combustion, en millièmes de seconde.
Abscisses : densités réelles, en grammes.

TABLEAU XIII.

Matière 26/34 *tamisée à la gaze de soie et agglomérée à sec.*

Pastilles de poids constant $2^{gr},12$ et de même diamètre 20^{mm}.

PRESSION d'agglomération.	DENSITÉ des pastilles.	ÉPAISSEUR.	DURÉES TOTALES DE COMBUSTION (en millièmes de seconde).				RAPPORT des durées observées aux densités 0,3 et 0,6.
			Numéro de l'expérience.	Densité 0,6 (pression maxima 3200^{kg}).	Numéro de l'expérience.	Densité 0,3 (pression maxima 1300^{kg}).	
3600^{kg}	1,944	3,44 mm	600	18,19	601	23,11	1,26
2400	1,938	3,45	598	17,35	599	22,75	1,28
1200	1,881	3,56	596	18,18	597	23,60	1,27
800 à 700	1,853 à 1,847	3,61 à 3,62	616 à 608	16,86 à 15,61	617 à 609	19,49 à 21,44	1,16 à 1,37
700	1,817	3,68	620	14,95	621	18,43	1,22
600	1,788	3,74	614	10,56	615	11,56	1,10
500	1,735	3,86	618	3,38	619	5,16	1,53
»	1,635	4,09	606	0,87	607	2,30	2,50
180	1,530	4,43	631	1,00	632	2,00	2,00

L'allure des quatre courbes de ce nouveau diagramme est identique à celle des courbes du diagramme précédent. Mais ces essais montrent que la durée de combustion du poussier élémentaire règle la durée de combustion des matières agglomérées dans un large intervalle, jusqu'à des densités voisines de 1,640. La durée de combustion s'accroît alors lentement jusqu'à la densité critique de 1,720, que la première série d'essais avait mise en évidence. A ce moment, se produit l'accroissement brusque des durées de combustion que nous avons vu coïncider avec l'influence de l'épaisseur; puis, enfin, les durées limites sont atteintes et la matière fonctionne comme compacte. L'influence de la composition de la matière n'apparaît que dans la valeur absolue des durées de combustion, qui sont, à toute densité, plus grandes pour les matières brunes que pour les matières noires.

Anomalies présentées par la combustion du poussier. — Nous avons constaté, au cours de ces expériences, un certain

nombre d'anomalies dans le mode de combustion du poussier qu'il paraît intéressant de relever, parce qu'elles montrent bien la nécessité du grenage adopté, de temps immémorial, dans la fabrication des poudres. Ces anomalies consistent dans un mode de combustion d'une lenteur extraordinaire; nous ne l'avons observée que lorsque la densité de chargement adoptée est égale ou supérieure à la densité gravimétrique du poussier : cette condition est réalisée à la densité 0,6.

Ainsi, un même poussier de poudre RWP, tamisé à la gaze de soie, a donné, dans deux expériences, à la densité de chargement 0,6, les durées de $13^{ms},89$ (expérience 654) et $38^{ms},82$ (expérience 655), soit 4 fois et 13 fois la durée de combustion normale.

Dans des expériences antérieures, nous avions observé des faits de même ordre, avec des matières très diverses :

1° A la densité de chargement 0,6, un échantillon de poudre à fusil dit F_1, brûlant en $2^{ms},4$ (expérience 91), le poussier, provenant de la pulvérisation et du tamisage à la gaze de soie de cette même poudre, brûlait en $11^{ms},6$, soit en un temps 5 fois plus grand (expérience 87). Le tracé indiquait d'ailleurs des à-coups très nets dans le développement de la pression, et mettait en évidence la marche irrégulière de l'inflammation.

2° Un secteur, découpé dans un grain de poudre RWP, de 13^{mm} d'épaisseur minima, brûlait en $14^{ms},08$ (expérience 88), et le poussier tamisé, provenant de la même poudre, se comburait en $55^{ms},6$ (expérience 90), soit dans un temps quadruple.

3° Un secteur, découpé dans un grain de PRH, de 13^{mm} d'épaisseur minima, brûlait en $23^{ms},75$ (expérience 82), et le poussier tamisé provenant de cette poudre brûlait en $26^{ms},97$.

Dans cette expérience, le tracé présentait un accroissement rapide de la pression dans la combustion initiale, se traduisant par un écrasement de 3^{mm} en moins de 2^{ms}, tandis que les 2^{mm} d'écrasement final n'étaient effectués que dans une durée décuple.

Il paraît évident que, dans ces exemples, une portion de la charge, formant tampon, s'est trouvée énergiquement comprimée sous l'influence des pressions initiales et soustraite à une inflammation régulière.

On ne pourrait donc songer à utiliser les matières pulvérulentes

dans les applications balistiques qui réclament l'emploi de poudres vives, en raison de l'irrégularité de leur inflammation.

IV. — AGGLOMÉRATION DES MATIÈRES GRENÉES.

Nos essais ont porté sur trois sortes de grains, différant par la composition, la densité et les dimensions.

Ces grains ont été agglomérés, soit à l'état sec, soit à des humidités variables, sous forme de pastilles et de blocs cylindriques de même diamètre (20^{mm}), dont les épaisseurs à une même densité variaient du simple au double.

On comparait, pour chaque mode d'agglomération, les durées de combustion, soit d'un bloc, soit de deux pastilles identiques qui constituaient la charge à la *densité de chargement* 0,6.

1° Poudre à fusil dite F_1.

Dosage : 77 salpêtre, 8 soufre, 15 charbon noir.

Grains compris entre $1^{mm},2$ et $0^{mm},6$.

Densité supérieure à 1,740.

Nombre de grains au gramme inférieur à 2000.

La durée de combustion du grain libre a été la suivante :

TABLEAU XIV.

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.	DURÉE OBSERVÉE.	NUMÉRO de l'expérience.
	ms	
Grain libre F_1	2,35 } ms 2,18 } 2,26	224 226

Les tableaux suivants indiquent les valeurs progressivement croissantes des durées de combustion de charges agglomérées par des compressions de plus en plus fortes.

TABLEAU XV.

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.		ÉPAISSEUR minima.	DENSITÉ.	DURÉE observée $\Delta = 0,6$.	NUMÉRO de l'expérience.
COMPRESSION A SEC.					
600 kg par centimètre carré.	Bloc	20,1	1,670	2,74	274
	Rondelles.	11,8	1,700	2,78	275
900 »	Bloc.....	20,1	1,830	3,92	276
	Rondelles.	10,9	1,840	4,05	277
1200 »	Bloc	20,1	1,900	10,73	278
	Rondelles.	10,4	1,910	12,54	279
1500 »	Bloc	20,1	1,920	38,02	282
	Rondelles.	10,35	1,930	24,15	283
1800 »	Bloc	20,1	1,946	52,69	280
	Rondelles.	10,25	1,955	34,61	281

La durée de combustion s'élève progressivement, sous des compressions croissantes, de la valeur correspondant à la combustion du grain libre à une valeur 5 fois plus grande, sans que cette durée cesse d'être indépendante de l'épaisseur.

Puis, sous les compressions de 1200kg à 1500kg par centimètre carré, le mode de fonctionnement change, la matière tend à devenir continue et l'influence de l'épaisseur s'accuse de la façon la plus nette.

2° Échantillon n° 10 de Sevran (poudre brune).

Cet échantillon était formé de grains de $1^{mm},4$ à 3^{mm}, $\delta = 1,808$. Les durées de combustion du grain libre sont les suivantes :

TABLEAU XVI.

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.	DURÉE observée $\Delta = 0,6$.	NUMÉRO de l'expérience.
	ms	
N° 10, Sevran. — Grain libre.....	6,47	220
	7,06	221
	7,23	246
	6,90	248
Moyenne.....	6,91	

TABLEAU XVII.

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.		ÉPAISSEUR minima.	DENSITÉ.	DURÉES observées $\Delta = 0,6$.	NUMÉRO de l'expérience.
GRAINS COMPRIMÉS A SEC.					
		mm		ms	
600kg par centimètre carré.	Bloc.....	20,1	1,831	12,04	270
	Rondelles.	10,9	1,840	11,43	271
1200kg »	Bloc.....	20,1	1,891	14,71	273
	Rondelles.	10,6	1,891	25,08	272

La durée de combustion du grain élémentaire a pu être doublée sans altérer le fonctionnement indépendant de l'épaisseur. Sous la compression de 1200kg, le fonctionnement cesse d'être régulier. Les rondelles minces, dans lesquelles les pressions se répartissent le mieux, s'agglomèrent d'une façon complète et se montrent beaucoup plus lentes que le bloc de 20mm comprimé à la même pression, à la même densité moyenne.

3° Échantillon 9 *bis* de Sevran (poudre brune).

Grains de 2mm,5 à 4mm; $\delta = 1,820$.

La mesure de la durée de combustion du grain libre a donné les résultats suivants :

TABLEAU XVIII.

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.	DURÉE observée.		NUMÉRO de l'expérience.
	ms		
9 *bis*. Sevran. Grain libre sec, 0,80 pour 100 HO...	9,57 / 10,03	9,80	286 / 288
Id. Grain libre humide, 0,91 pour 100 HO.	11,48		287

On a fait trois séries de compressions à divers taux d'humidité : 0,80, 2,00 et 3,50 pour 100. Les matières, comprimées humides, ont été ramenées à 0,80 pour 100 d'humidité par un séchage lent à 55°.

Dans chaque série, on a préparé 4 couples d'échantillons sous des pressions croissantes, en cherchant, autant que possible, à obtenir des densités égales pour les cylindres de 10^{mm} et de 20^{mm}.

TABLEAU XIX.

1° *Compression de la matière à* 0,80 *pour* 100 *d'humidité.*

PRESSION d'agglomération.	NATURE de l'échantillon.	ÉPAISSEUR minima.	DENSITÉ.	DURÉE de combustion.	NUMÉRO de l'expérience.
			COMPRESSION FAIBLE.		
		mm		ms	
1320^{kg} par cmq..	Bloc.....	20,1	1,728	12,53	301
1140^{kg} par cmq..	Rondelles....	11,65	1,720	11,91	302
			COMPRESSION MOYENNE.		
		mm		ms	
2160^{kg} par cmq..	Bloc.....	20,1	1,798	12,50	303
1860^{kg} par cmq..	Rondelles.....	11,0	1,825	14,50	304
			COMPRESSION FORTE.		
		mm		ms	
2400^{kg} par cmq..	Bloc.....	20,1	1,869	14,56	305
2160^{kg} par cmq..	Rondelles.....	10,65	1,887	14,99	306
		10,65	1,887	15,58	294
			COMPRESSION MAXIMUM.		
		mm		ms	
3600^{kg} par cmq..	Bloc.....	20,1	1,937	19,30	307
3600^{kg} par cmq..	Rondelles. ...	10,3	1,946	18,64	308

Ces résultats mettent en évidence la résistance considérable que présente la matière sèche (0,80 pour 100 d'eau) sous forme de grains déjà denses à former une matière continue. Les grains moulés sous la pression de 3600^{kg} par centimètre carré, que l'on peut regarder comme la limite des pressions pratiquement réalisables, présentent une durée de combustion à peine double de celle du grain primitif et indépendante de l'épaisseur, bien que la densité finale du grain moulé soit très supérieure à celle du grain élémentaire.

TABLEAU XX.

2° *Compression de la matière à 2 pour* 100 *d'humidité.*

PRESSION d'agglomération.	NATURE de l'échantillon.	ÉPAISSEUR minima.	DENSITÉ après séchage.	DURÉE de combustion.	NUMÉRO de l'expérience.
			COMPRESSION FAIBLE.		
		mm		ms	
900^{kg} par cmq.	Bloc.....	19,80	1,836	14,44	314
720^{kg} par cmq.	Rondelles.....	11,35	1,820	13,79	315
			COMPRESSION MOYENNE.		
		mm		ms	
1200^{kg} par cmq.	Bloc.....	19,85	1,891	18,75	316
1020^{kg} par cmq.	Rondelles.....	10,80	1,891	18,08	317
			COMPRESSION FORTE.		
		mm		ms	
1800^{kg} par cmq.	Bloc.....	19,85	1,958	51,24	318
1440^{kg} par cmq.	Rondelles.....	10,70	1,940	34,16	319
			COMPRESSION MAXIMUM.		
		mm		ms	
3600^{kg} par cmq.	Bloc.....	19,90	1,950	73,53	320

A l'humidité de 2 pour 100, la plasticité de la matière commence à s'accentuer. Sous les pressions de 1000^{kg} à 1200^{kg}, la durée de combustion devient double de la durée de combustion du grain primitif, en restant indépendante de l'épaisseur du grain. Mais, dès les pressions de 1500^{kg} à 1800^{kg}, la matière tend à devenir con-

tinue et l'influence de l'épaisseur se manifeste très nettement. On voit d'ailleurs que l'on est encore fort loin de la vitesse de combustion limite, car la durée de combustion du bloc s'élève de 51 à 73 millièmes de seconde lorsque la compression passe de 1800^{kg} à 3600^{kg}.

TABLEAU XXI.

3° *Compression de la matière à* 3,5 *pour* 100 *d'humidité.*

NATURE DE L'ÉCHANTILLON.			ÉPAISSEUR minima.	DENSITÉ après séchage.	DURÉE de combustion.	NUMÉRO de l'expérience.
				COMPRESSION.		
			mm		ms	
120^{kg} par cmq.		Bloc.....	19,70	1,830	17,93	367
		Rondelles....	11,25	1,850	17,75	368
180^{kg}	id.	Bloc.....	19,70	1,923	28,71	369
		Rondelles....	10,75	1,945	26,58	370
240^{kg}	id.	Bloc.....	19,70	1,933	24,81	371
		Rondelles....	10,70	1,945	45,34	372
360^{kg}	id.	Bloc.....	19,90	»	66,21	289 (1)
		Rondelles....	10,80	»	42,47	290 (1)
720^{kg}	id.	Bloc.....	19,70	»	65,64	291 (1)
					65,60	295 (1)
		Rondelles....	10,70	»	55,47	296 (1)
					55,64	292 (1)
				COMPRESSION MAXIMUM.		
			mm		ms	
3600^{kg}	id.	Bloc.....	19,70	1,950	78,42	373
		Rondelles....	10,65	1,980	30,87	374

(1) Matières tirées avant dessiccation complète, à 2 pour 100 d'humidité.

Cette dernière série présente beaucoup moins de régularité que les précédentes, mais elle se rapproche des conditions normales de fabrication et permet de se rendre compte des difficultés qu'elles comportent.

La plasticité de la matière augmente à l'humidité de 3,50 pour 100, dans des proportions considérables. On double déjà la

durée de combustion du grain élémentaire par la pression de 120^{kg} par centimètre carré, cette durée de combustion restant indépendante de l'épaisseur. Il semble même que ce mode de fonctionnement subsiste sous la pression de 180^{kg} par centimètre carré, la durée de combustion du grain élémentaire étant presque triplée; mais on est à la limite d'un fonctionnement régulier. Sous les pressions plus élevées apparaissent des anomalies qui semblent indiquer que les pressions se répartissent mal dans le grain; on voit, toutefois, nettement se manifester l'influence de l'épaisseur.

L'ensemble des expériences relatives à l'échantillon 9 *bis* montre bien que ce n'est pas la densité moyenne finale du grain qui suffit à régler la durée de combustion, mais que la plasticité de la matière première et le mode suivant lequel les grains se soudent les uns contre les autres ont une influence prépondérante.

Ainsi, la durée de combustion du grain élémentaire est sensiblement doublée. Pour la matière :

à 0,80 pour 100 d'eau, à la densité de 1,940	Densités
à 2,00 pour 100 d'eau, à la densité de 1,890	des
à 3,50 pour 100 d'eau, à la densité de 1,840	matières sèches.

V. — MODE D'ACTION GÉNÉRAL DE LA COMPRESSION.

En résumé, pour toutes les matières que nous venons de passer en revue, l'influence de la compression sur les durées de combustion s'exerce d'une façon identique.

On peut distinguer quatre périodes de compression auxquelles correspondent des modes de combustion très différents :

Dans la première période, relative aux compressions les plus faibles, la durée de combustion de la matière ne diffère pas de celle des éléments juxtaposés qui la constituent. Elle est, par suite, indépendante de l'épaisseur.

Dans la deuxième période de compression, la durée de combustion s'élève progressivement jusqu'à des valeurs atteignant 4 et 5 fois celle qui correspond au grain ou au poussier élémentaire, et cette durée reste cependant indépendante de l'épaisseur. *C'est*

ce type de matière qui constitue normalement les poudres noires ou brunes actuellement utilisées par l'artillerie.

La troisième phase de compression est caractérisée par une variation extraordinairement rapide de la durée de combustion avec la densité et, en même temps, on voit apparaître et s'accentuer de plus en plus l'influence de l'épaisseur. Ce type de matières s'introduit parfois dans les fabrications, lorsqu'on demande à la compression un ralentissement excessif de la durée de combustion du grain élémentaire, mais l'extrême irrégularité des produits ne permet pas d'admettre ce type de matières comme normal.

Dans la quatrième phase, les matières, devenues presque compactes, présentent des durées de combustion lentement croissantes avec la densité et proportionnelles aux épaisseurs.

Cette succession de phénomènes paraît susceptible d'une explication très simple, fondée sur les lois connues de l'écoulement des gaz à travers des orifices capillaires. On sait, en effet, que le débit Q des fluides à travers les canaux capillaires de toute nature est donné par des expressions du type de la loi de Poiseuille,

$$Q = \frac{KPD^4}{L},$$

où D représente le diamètre, P la pression, L la longueur et K un coefficient caractéristique du fluide, et que, par suite, les vitesses d'écoulement, proportionnelles à $\frac{Q}{D^2}$, décroissent avec une extrême rapidité avec les dimensions des orifices.

On conçoit donc que, dans le phénomène de pénétration des gaz incandescents à travers une masse hétérogène, les interstices d'un certain ordre de grandeur, que nous appellerons du premier ordre, jouent seuls un rôle efficace; les orifices d'un ordre inférieur, par exemple dix fois moindres, ne laissant propager l'inflammation qu'avec une vitesse cent fois moindre.

Ceci posé, considérons la matière formée par agglomération de grains au plus faible degré de compression. Il subsiste dans la charge un système d'interstices qui assure l'inflammation de tous les grains sans retard sensible, ou tout au moins dans un temps de durée négligeable par rapport à la durée de combustion propre des grains. Ce mode de combustion est mis en évidence par les

exemples nombreux donnés plus haut, montrant l'identité des durées de combustion du grain libre et des blocs faiblement comprimés : c'est le fonctionnement de la première phase de compression.

Sous une compression plus forte, les interstices se réduisent par une sorte d'enchevêtrement des grains, dont les surfaces de contact s'épousent d'une façon de plus en plus complète en obturant ou réduisant à des dimensions très petites tout un réseau des interstices primitifs.

Il en résulte que le nouveau système de canaux dont les dimensions restent de l'ordre des dimensions initiales, au lieu de limiter en moyenne chaque grain élémentaire comme dans l'état primitif, limite un noyau polyédrique formé par l'agglomération partielle de plusieurs grains, et l'on conçoit très bien que la durée moyenne de combustion de ces noyaux puisse varier d'une façon continue avec la compression jusqu'à des valeurs double, triple, etc. de la durée de combustion du grain primitif sans que, pour autant, un système régulier de canaux de premier ordre cesse de subsister dans la masse, en assurant une durée de combustion indépendante des dimensions extérieures du grain : c'est le fonctionnement de la deuxième phase de compression.

Sous des compressions croissantes, le nombre des canaux de premier ordre se réduit assez pour que les dimensions des noyaux qu'ils limitent deviennent de l'ordre des dimensions du grain moulé. On tombe alors dans les irrégularités que nous avons observées dans la troisième phase de compression des matières formées de grains au moment où l'influence de l'épaisseur commence à se faire sentir. Ces irrégularités subsistent jusqu'à ce que la totalité des canaux de premier ordre ait disparu et que l'influence de l'épaisseur se manifeste franchement.

A ce moment commence la quatrième phase de compression : la matière se rapproche de l'état limite correspondant à une continuité parfaite et les vitesses de combustion ne varient plus avec la densité que d'une façon très lente. On conçoit, en effet, que cette vitesse résulte de la conductibilité de la matière, pour la chaleur accrue d'une faible vitesse d'infiltration de gaz incandescents à travers les interstices de second ordre, dont les dimensions se réduisent progressivement. De là, la décroissance lente

de la vitesse de combustion, lorsque la densité s'élève jusqu'aux limites pratiquement réalisables.

VI. — INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LES DURÉES DE COMBUSTION.

Les résultats consignés dans les tableaux n^{os} XI, XII et XIII, relatifs à l'influence de la compression sur le mode de combustion des matières pulvérulentes, permettent de déduire quelques conclusions qualitatives relativement à l'influence qu'exerce la pression sur la vitesse de combustion.

Si l'on considère les matières de densités supérieures à 1,780, pour lesquelles la proportionnalité des durées de combustion aux épaisseurs est sensiblement réalisée, c'est-à-dire les matières qui fonctionnent comme *compactes,* on obtient, pour le rapport des durées de combustion des mêmes éléments aux densités de chargement 0,3 et 0,6 (pression maxima 3200^{kg} et 1300^{kg}), les nombres contenus dans le tableau suivant.

TABLEAU XXII.

MATIÈRES RWP.					MATIÈRES 26/34.	
DONNÉES DU TABLEAU XI.			DONNÉES DU TABLEAU XII.		DONNÉES DU TABLEAU XIII.	
DENSITÉS.	RAPPORT $\frac{\text{durées 0,3}}{\text{durées 0,6}}$		DENSITÉS.	RAPPORT $\frac{\text{durées 0,3}}{\text{durées 0,6}}$	DENSITÉS.	RAPPORT $\frac{\text{durées 0,3}}{\text{durées 0,6}}$
	Blocs.	Pastilles.		Pastilles.		Pastilles.
1,922	1,27	1,23	1,922	1,26	1,944	1,26
1,785	1,25	1,30	1,889	1,18	1,938	1,28
»	»	»	1,868	1,29	1,881	1,27
»	»	»	1,781	1,32	1,853	1,16
»	»	»	»	»	1,847	1,37
»	»	»	»	»	1,817	1,22
»	»	»	»	»	1,788	1,10

La moyenne générale de ces nombres est de 1,25, et l'exposant de la puissance de la pression qui rendrait compte de cette variation de la durée de combustion est 0,25, soit $\frac{1}{4}$. Cette valeur avait été déjà signalée, à la fin du chapitre II, comme résultant de la

comparaison des durées de combustion de matières compactes de poudre 30/40, brûlant aux densités 0,3 et 0,6.

Si l'on considère les matières de densité inférieure à 1,780, le rapport s'élève rapidement et atteint des valeurs supérieures à 2,00. Quelles que soient les erreurs auxquelles conduit l'irrégularité des rapports obtenus dans certains couples d'expériences, on peut conclure avec certitude que l'influence de la pression s'accroît d'une façon importante lorsque la compacité des matières diminue. Le rapport 2,50 répondrait sensiblement à la proportionnalité des durées de combustion aux pressions.

La discordance des exposants de la pression, admis par les expérimentateurs pour représenter l'influence de la pression sur la vitesse de combustion, s'expliquerait donc aisément par la nature variable des matières premières sur lesquelles ils ont opéré.

En tout cas, il est évident que cette fonction de la pression ne peut être, *a priori,* regardée comme identique pour des poudres de fabrications diverses, et qu'il importe de la déterminer dans chaque cas particulier.

CHAPITRE IV.

CLASSEMENT, AU POINT DE VUE DE LA VIVACITÉ, DES MATIÈRES EMPLOYÉES A LA FABRICATION DES POUDRES.

L'étude comparative, que nous avons faite dans le chapitre précédent, des durées de combustion de matières de composition différente, telles que les poudres noires et brunes, nous a montré que cette composition jouait un rôle important sur la vitesse des réactions. C'est ainsi qu'à toute densité les poudres brunes se sont montrées plus lentes que les poudres noires. Il en résulte que le fabricant dispose d'autres éléments que la densité pour modifier à son gré la vivacité des produits, et il est important de mettre en évidence séparément l'influence des diverses variables qui interviennent dans la durée de combustion finale.

L'emploi des matières compactes nous a paru présenter de grands avantages pour cette étude : nous avons vu, en effet, que la vitesse de combustion des matières amenées à cet état devient sensiblement indépendante de la densité et de l'épaisseur, de sorte que cette vitesse de combustion est une caractéristique des autres variables qui interviennent dans les propriétés de la poudre, à savoir la composition et l'état physique des éléments mis en présence, résultant du degré de trituration.

Nous avons réuni, dans les tableaux suivants, les résultats de nombreuses déterminations effectuées sur les types de matières les plus diverses.

Les poudres étaient triturées à sec et tamisées à la gaze de soie. Les comparaisons ont été faites à la densité de chargement 0,6 pour les poudres noires, sous la pression maximum de 3000^{kg} par centimètre carré. On déterminait la durée de combustion de cylindres de 20^{mm} de diamètre et d'épaisseurs voisines de 3^{mm},5o, 10^{mm} et 20^{mm}. Ces cylindres étaient obtenus par agglomération, dans un moule en acier, des matières pulvérulentes sèches, sous les pressions les plus élevées réalisables en pratique, soit 3600^{kg} par centimètre carré.

TABLEAU XIII.

NATURE DES POUDRES.	VITESSES DE COMBUSTION (en centimètres par seconde).			COEFFICIENT de lenteur moyen.
	Cylindres de 3^{mm},5.	Cylindres de 10^{mm}.	Cylindres de 20^{mm}.	
	cm	cm	cm	
Poudre RWP.....	5,70	6,30	8,90	100
Poudre PRH.....	6,25	8,04	10,23	85
Poudre 26/34, Sevran.....	8,50	8,60	12,20	71
Poudre 30/40, Sevran.....	»	9,96	13,85	64
Chasse fine.....	9,48	11,31	14,97	58
Chasse extrafine.....	13,74	13,27	18,00	46

Ces nombres permettent de classer les diverses matières par ordre de lenteur et même de déterminer leur lenteur relative.

Si l'on choisit, en effet, l'une de ces matières comme type, la plus lente, par exemple RWP, et qu'on prenne, pour chaque

espèce de cylindre, le rapport des vitesses de combustion observées pour chaque échantillon à la vitesse correspondante de l'échantillon type, on obtient les coefficients qui figurent dans la dernière colonne du tableau ci-dessus. Ces coefficients sont la moyenne des rapports peu différents obtenus pour une même matière par la comparaison des divers cylindres avec les cylindres correspondants de l'échantillon type.

Nous avons vu, en effet, que la divergence des vitesses moyennes de combustion obtenues pour les cylindres de hauteurs différentes est due à l'influence variable de l'aplatissement, mais il est facile de voir que cette influence s'élimine dans les rapports de vitesses correspondant à des cylindres de même espèce et que, par suite, on peut faire concourir toutes les expériences à la détermination du coefficient moyen.

Il importe de remarquer que, sauf pour la poudre RWP et l'échantillon 26/34, chaque nombre résulte d'une seule détermination. Dans ces conditions, la concordance des expériences paraît suffisante.

On voit que la lenteur des diverses matières employées à la fabrication de la poudre varie entre des limites très étendues. La matière RWP brûle plus de deux fois plus lentement que la matière de poudre de chasse extrafine. Sa lenteur est de moitié supérieure à celle des échantillons de poudre noire fabriqués, à Sevran, sous le nom de *poudre* 26/34 ou 30/40.

Entre ces deux échantillons, d'ailleurs, on trouve une différence très sensible, que nous attribuons à une réduction de trituration sur les matières 26/34. Nous disposons, du reste, de trop peu de données encore pour discuter utilement la question de l'influence de faibles variations de la durée de trituration sur la vivacité d'une même matière. Nous remarquerons seulement que la méthode de comparaison des échantillons, par les vitesses de combustion limites, permet d'éliminer l'influence de la densité, qui se superpose inévitablement à celle de la trituration dans le tir des poudres à divers degrés de trituration.

TABLEAU XXIV.

NATURE DES POUDRES utilisées pour la formation des matières compactes.	VITESSES DE COMBUSTION (en centimètres par seconde). Cylindres de $3^{mm},5$.	Numéro de l'expérience.	Cylindres de 10^{mm}.	Numéro de l'expérience.	Cylindres de 20^{mm}.	Numéro de l'expérience.	COEFFICIENT de lenteur moyen.
	cm		cm		cm		
Échantillon n° 10 (Charbon noir.) grain comprimé..	7,99	216	8,72	215	13,02	214	71
Échantillon n° 10 (Charbon noir.) grain vert.....	7,23	219	8,30	218	11,50	217	77
Échantillon charbon roux, Sevran.....	8,13	264	8,54	265	»	»	72
» azotique, Sevran.	7,36	299	8,40	298	12,09	300	75
Échantillon au Braunkohl, Sevran....	11,33	262	12,05	263	»	»	51
Poudre MC_{30}, 75/12,5/12,5.....	7,82	312	8,88	311	13,05	310	71
Poudre de mine, 62/20/18.....	5,09	269	5,27	268	»	»	116
Poudre au picrate d'amm., 43/57 (1)..	»	»	13,18	458	15,97	459	51
Poudre 8/11, 75/10/15 (5 pour 100 paraffine, remplaçant 5 pour 100 charbon).	»	»	6,18	410	8,46	411	103

(1) La poudre au picrate d'ammoniaque a été brûlée à la densité de chargement 0,4, pour conserver la même pression maximum.

Ce tableau montre que la substitution au charbon ordinaire à 30 pour 100 de rendement de matières telles que le Braunkohl et le charbon azotique ne suffit pas pour permettre d'obtenir des poudres lentes. La poudre au Braunkohl, en particulier, s'est montrée deux fois plus vive que la poudre allemande RWP. Les poudres au charbon roux à 40 pour 100 de rendement, au charbon azotique, dans les conditions de trituration adoptées, n'ont réalisé, au point de vue de la lenteur, aucun perfectionnement par rapport à la matière des poudres noires ordinaires 26/34, ou à celle de la poudre MC_{30}.

Il importe, au contraire, de signaler l'influence considérable exercée, pour la matière des poudres 8/11, par la substitution, dans le dosage anglais ordinaire, de 5 pour 100 de paraffine à un égal taux de charbon. La matière ainsi modifiée est un peu plus lente que la plus lente des poudres allemandes, sans abaissement dans la force, ainsi qu'il résulte de la mesure des pressions en vase clos.

La poudre de mine a présenté une lenteur de combustion remarquable, due évidemment à sa faible trituration. Mais cette lenteur de combustion n'est obtenue à sec que sous les compressions énormes de 3600^{kg} par centimètre carré. Par la compression de 2400^{kg} par centimètre carré, la vitesse de combustion limite n'est pas encore atteinte, contrairement à ce que nous avions observé pour les matières 26/34 et RWP, qui, sous les pressions de 1200^{kg} par centimètre carré, donnaient déjà la vitesse de combustion limite; c'est ce qui résulte du Tableau comparatif suivant :

TABLEAU XXV.

NATURE de la poudre.	COMPRESSION	VITESSES DE COMBUSTION (en centimètres par seconde).				COEFFICIENT de lenteur moyen.
		Cylindres de 3^{mm}.	Numéro de l'expérience.	Cylindres de 10^{mm}.	Numéro de l'expérience.	
	kg	cm		cm		
Poudre de mine.	2400	5,95	267	7,84	266	94
	3600	5,09	269	5,27	268	116

La lenteur de la matière augmente encore de près de $\frac{1}{4}$, lorsque la compression s'élève de 2400^{kg} à 3600^{kg}.

Une observation analogue s'applique à la matière de la poudre Brugère, au picrate d'ammoniaque.

TABLEAU XXVI.

NATURE de la poudre.	COMPRESSION. à sec.	VITESSE DE COMBUSTION (en centimètres par seconde).				COEFFICIENT de lenteur moyen.
		Cylindres de $7^{mm},5$.	Numéro de l'expérience.	Cylindres de 15^{mm}.	Numéro de l'expérience.	
	kg	cm		cm		
Poudre au picrate d'ammoniaque.	1800	25,60	461	27,00	462	28
	2400	»	»	17,20	460	50
	3600	13,18	458	15,97	459	51

Ainsi donc, cette poudre, qui, à la limite, n'est que deux fois plus vive que la plus lente des poudres brunes allemandes, c'est-à-dire comparable à la matière de poudre de chasse extrafine, prend une vivacité triple ou quadruple sous une agglomération moins énergique, qui suffit pourtant à donner déjà la vitesse de combustion limite aux poudres noires.

Nos essais ont permis de mettre en évidence l'influence de la trituration et de la nature des charbons sur la vitesse de combustion. Les échantillons auxquels se rapportent les déterminations qui suivent nous ont été envoyés par la poudrerie de Sevran.

Influence de la trituration. — 1° On a comparé les vitesses de combustion de matières au dosage de 78-3-19, charbon de bourdaine, rendement 80 pour 100 environ, triturées les unes deux heures et demie aux meules, les autres simplement broyées au pilon. Ces matières ont été agglomérées à sec à la presse, sous forme de cylindres de 20^{mm} de hauteur, par une compression de 3600^{kg} par centimètre carré.

TABLEAU XXVII.

NATURE DE LA MATIÈRE.	CYLINDRES DE 20^{mm}. Vitesses de combustion (en centimètres par seconde).	NUMÉRO de l'expérience.
Matière broyée au pilon, charbon à 80 pour 100 de rendement	$\frac{cm}{3,56}$	396
Matière triturée en $2^h 30^m$ aux meules. charbon 77 pour 100	10,56	436
Matière triturée en $2^h 30^m$ aux meules. charbon 90 pour 100	10,17	438

La trituration de deux heures et demie sous les meules a triplé la vitesse de combustion de la matière simplement broyée au mortier, mais il importe de remarquer que les poudres sans trituration sont, à égalité de dosage, *plus faibles* que les poudres bien triturées. Ce résultat doit être attribué au refroidissement que comportent des durées de combustion excessives et aux réactions incomplètes qui se produisent entre des éléments grossièrement

pulvérisés. Pour l'exemple qui nous occupe, les pressions observées à la densité de chargement de 0,6 ont été de 2413^{kg}; pour les poudres sans trituration, et 2948^{kg} pour les autres, soit un abaissement de $\frac{1}{5}$ environ.

2° L'influence de la durée de trituration sous les meules résulte des essais suivants, qui ont porté sur des matières envoyées de Sevran au laboratoire central, le 25 juillet 1884, et prélevées sous les meules, après une heure et deux heures et demie de trituration. Le dosage était 78-4-18.

TABLEAU XXVIII.

NATURE DE LA MATIÈRE.	VITESSES DE COMBUSTION LIMITES (en centimètres par seconde). 1 heure de trituration.	Numéro de l'expérience.	Coefficient.	2 h. 3om. de trituration.	Numéro de l'expérience.	Coefficient.	RAPPORT.
MATIÈRE COMPRIMÉE ET TIRÉE COMPLÈTEMENT SÈCHE.							
Cylindres de 10 mm	6,07 cm	360	»	7,32 cm	359	»	1,22
» 20	8,16	362	»	9,93	361	»	1,20
MATIÈRE COMPRIMÉE ET TIRÉE A L'HUMIDITÉ NORMALE DE 1,60 POUR 100.							
Cylindres de 3,4 mm	4,45 cm	365	»	5,25 cm	366	108	1,19
» 10	5,66	364	»	6,50	363	97	1,15
MATIÈRE COMPRIMÉE ET TIRÉE A 3 POUR 100 D'HUMIDITÉ.							
Cylindres de 10 mm	5,36 cm	355	»	6,24 cm	358	»	1,19
» 20	7,90	354	»	9,41	357	»	1,16

On voit que, quelle que soit la forme sous laquelle a été faite l'expérience de comparaison, la trituration, en passant de une heure à deux heures et demie, augmente de $\frac{1}{5}$ environ la vitesse de combustion de la matière.

Influence de l'humidité sur les vitesses de combustion limites. — Ces derniers essais permettent de se rendre compte de l'in-

fluence qu'exerce, sur les durées de combustion limites, l'humidité des matières au moment de la compression et du tir. Cette influence est assez faible, soit 3 à 4 centièmes par centième d'humidité.

Les exemples suivants confirment ces résultats et montrent que les vitesses de combustion limites, déterminées sur des échantillons possédant l'humidité normale de 1,50 environ, ne sauraient être entachées d'erreurs sensibles par de petites variations dans le taux d'humidité.

TABLEAU XXIX.

NATURE DES MATIÈRES.		VITESSES OBSERVÉES (centimètres par seconde). Cylindres de 10mm.	NUMÉRO de l'expérience.
	MATIÈRE PRH.		
		cm	
Comprimée et tirée	complètement sèche.....	7,19	432
	à 1,40 p. 100 d'humidité...	7,04	430
	à 2,40 p. 100 » ...	6,64	434
	MATIÈRE 26/34.		
		cm	
Comprimée et tirée	complètement sèche.....	10,73	433
	à 0,94 p. 100 d'humidité...	9,96	431
	à 1,55 p. 100 » ...	9,85	435

Influence de la nature et du degré de cuisson des charbons. — Les essais relatés plus haut n'ont mis en évidence qu'une influence assez faible exercée par la nature des charbons sur la vitesse de combustion limite des matières. Mais, lorsqu'on substitue aux charbons usuels proprement dits, noirs ou roux, dont le rendement, par rapport au bois primitif, ne dépasse pas 30 à 40 pour 100, des bois faiblement carbonisés, c'est-à-dire des charbons bruns dont le rendement s'élève à 80 ou 90 pour 100, on observe l'abaissement considérable des vitesses de combustion qui caractérise les matières des poudres brunes allemandes. C'est ce qui résulte des essais suivants qui concernent des matières de trituration normale à base de charbons faiblement carbonisés.

TABLEAU XXX.

RENDEMENT DU CHARBON.	VITESSES DE COMBUSTION LIMITES (centimètres par seconde).			
	Cylindres de 20^{mm}.	Numéro de l'expérience.	Cylindres de 10^{mm}.	Numéro de l'expérience.
MATIÈRE AU CHARBON DE BOURDAINE. — DOSAGE 78-3-19. — $2^h 30^m$ DE TRITURATION.				
77	cm 10,56	436	cm 7,10	437
90	10,17	438	6,98	439
MATIÈRE AU CHARBON D'AULNE. — DOSAGE 78-3-19. — $2^h 30^m$ DE TRITURATION.				
78	cm 10,93	440	cm 7,27	445
89	10,09	442	6,43	443

L'influence des rendements du charbon dans les limites de 77 à 90 pour 100 se traduit par une variation de $\frac{3}{100}$ sur les vitesses de combustion pour le premier échantillon et de $\frac{9}{100}$ pour le deuxième.

La substitution du charbon d'aulne au charbon de bourdaine ne donne également que des variations de quelques centièmes dans les vitesses de combustion limites.

Mais, grâce à l'emploi des bois faiblement carbonisés, ces matières possèdent des vitesses de combustion limites intermédiaires entre celles des matières allemandes PRH et RWP. Leur coefficient de lenteur, défini comme nous l'avons dit plus haut, serait compris entre 90 et 95.

L'ensemble des données qui précèdent conduit à diverses remarques :

1° Les matières des poudres allemandes RWP et PRH et d'une façon générale les matières des poudres brunes à base de charbon faiblement carbonisé, sont beaucoup plus lentes que les matières des poudres noires de toute espèce présentant une égale tritura-

tion : cette propriété, corrélative du dosage et de la nature du charbon, rend compte des facilités spéciales qu'offrent ces matières dans la fabrication des poudres lentes.

2° L'incorporation des éléments de la poudre noire et vraisemblablement de tous les mélanges explosifs analogues, par la trituration sous les meules, a une influence considérable sur la vitesse de combustion, et l'emploi de matières simplement triturées aux tonnes semblerait indiqué pour la fabrication des poudres lentes, malgré l'abaissement de force qui peut en résulter, si leur agglomération par compression ne présentait pas de difficultés pratiques excessives.

3° La substitution partielle de la paraffine au charbon, dans le dosage des poudres de guerre, permet de ralentir, dans de fortes proportions, la vitesse de combustion de matières à trituration normale, et cette modification ne diminue pas la force de la poudre.

CHAPITRE V.

PARTICULARITÉS DE FONCTIONNEMENT DES POUDRES DU TYPE DE LA POUDRE NOIRE.

Dans les recherches qui précèdent, nous avons éliminé autant que possible les perturbations pouvant provenir d'un défaut d'homogénéité des matières en essai. C'est ainsi que, lorsque nous avons étudié les matières composant les poudres usuelles, nous avons dépouillé les grains lissés de leur croûte extérieure et les charges, comparées deux à deux, ont toujours été tirées d'un même grain.

Il nous reste à examiner de quel ordre sont les perturbations introduites par les conditions ordinaires de fabrication. Ces perturbations consistent dans le défaut d'identité des matières constituant les différents grains d'une même charge; ce défaut d'identité s'étend même aux diverses parties d'un même grain, lorsque les poudres sont lissées.

Nous trouverons dans cette étude un exemple de l'application des méthodes de combustion en vase clos à la recherche du degré d'homogénéité d'un lot de poudre.

Cette donnée n'intervient pas explicitement, jusqu'à ce jour, dans les conditions de réception des poudres; mais elle intervient implicitement dans les conditions relatives à l'écart moyen des vitesses et à la valeur de la pression maxima admise pour la vitesse de réception.

L'expérience montre, en effet, que, lorsqu'on cherche à obtenir, pour une charge donnée, la vitesse fournie dans une arme par une poudre sensiblement homogène, au moyen d'un mélange à proportion convenable de deux poudres, l'une plus vive et l'autre plus lente que la poudre type, la vitesse est toujours obtenue, dans ces nouvelles conditions, avec une pression supérieure à celle que comporte le tir de la poudre homogène.

L'homogénéité a donc une importance balistique et il paraît évident que la supériorité de certains lots de poudre sur d'autres, obtenus dans les mêmes conditions générales de dosage et de fabrication, n'a pas d'autre cause.

C'est également ainsi que certains procédés de fabrication, tels que ceux des poudres à grains moulés isolément et sans lissage, peuvent, lorsqu'ils sont bien conduits, conduire à des produits supérieurs à ceux que fournit la fabrication des poudres Pebble ordinaires, qui comportent le moulage de grandes plaques dont la compacité n'est pas uniforme et qui subissent l'opération du lissage.

Poudres à grains moulés isolément.

Étude des poudres PRH.

Ces poudres, dont nous avons étudié le mode de fonctionnement dans un chapitre précédent, ont été reçues en France en 1884. Deux lots, de vivacité différente, ont été soumis aux essais; l'un était destiné au canon de 24^{cm} et l'autre aux canons de 27^{cm} à 42^{cm} de la marine.

L'indépendance des durées de combustion et des épaisseurs ayant été constatée par des expériences préalables sur les diverses parties d'un même grain, l'étude de l'homogénéité de ces poudres

revenait à la détermination des durées de combustion d'un certain nombre de grains ou fractions de grains prélevés dans les diverses parties de chaque lot. On a soumis à la combustion sous la densité de chargement 0,6, c'est-à-dire sous des pressions maxima de 2900^{kg} à 3000^{kg} environ, 20 grains de poudre PRH pour canon de 24^{cm} et 22 grains de la poudre pour canons de 27^{cm} à 42^{cm}. Les charges étaient constituées par un secteur découpé dans le grain prismatique, comme il a été dit au chapitre II. Le reste du grain pouvait être utilisé soit à la détermination de données physiques, soit à la réitération de l'expérience.

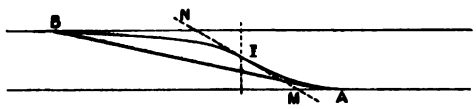
Les durées observées sont rangées par ordre de grandeur croissante dans le tableau suivant et rapprochées d'un certain nombre de valeurs des $\frac{dp}{dt}$ maxima, destinées à montrer que l'allure générale de la loi de combustion est en relation étroite avec ces durées.

TABLEAU XXXI.

PRH, 2 ½ cm.			PRH, 27 cm à 42 cm.		
Numéros des expériences.	Durées D_e.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Numéros des expériences.	Durées D_e.	$\frac{dp}{dt}$ M.
	ms	T		ms	T
150	11,30	422,4	149	11,60	453,8
156	11,91		129	11,62	
124	12,03		128	12,34	
159	12,53		145	12,43	
119	12,66		142	12,88	
151	13,10		141	12,96	
158	13,12	363,7	144	14,25	323,7
123	13,17		134	15,02	
121	13,47		147	15,40	
157	13,60		136	16,55	255,8
127	13,80		138	18,01	
122	15,07		140	18,64	
126	15,38		132	20,58	
161	15,92	296,5	130	21,80	
153	17,72		133	21,80	
125	19,61		135	22,46	
155	19,98		146	22,58	211,3
160	20,30		143	27,25	
152	25,34		137	27,44	
154	27,21	189,0	131	31,02	
			139	45,08	
			148	45,63	126,6
Moyenne	15,86		Moyenne	20,78	
Écart moyen.	3,30		Écart moyen.	6,99	

Tous ces tracés, obtenus à la même densité de chargement et, par suite, sous des pressions très voisines, présentent une allure

Fig. 17.



commune. Au point d'inflexion I (*fig.* 17), la pression atteint environ la moitié de la pression finale et la tangente $\frac{dp}{dt}$, maximum en ce

point, présente un écart modéré et régulier avec la vitesse moyenne de développement de la pression, caractérisée par le quotient $\frac{P}{D_e}$. Le rapport est de 1,70 environ.

Il en résulte que le classement des grains est le même, suivant que l'on considère l'un ou l'autre des éléments D_e ou $\frac{dp}{dt}M$, et que les diverses lois de développement des pressions ne diffèrent que par l'échelle des abscisses.

Nous nous trouvons donc dans des conditions voisines du cas théorique correspondant à la combustion de matières homogènes formées d'éléments semblables, et ce résultat concorde avec la notion de combustion par noyaux à laquelle nous ont conduit les résultats du chapitre III.

Les grains soumis à la combustion se répartissent comme il suit :

		PRH, 24^{cm} pour 100.	PRH, 27^{cm} à 42^{cm} pour 100.
Grains brûlant	entre $\frac{11,5}{1000}$ et $\frac{15,5}{1000}$ de seconde...	65	40,9
	$\frac{15,5}{1000}$ et $\frac{19,5}{1000}$ » ...	15	13,7
	$\frac{19,5}{1000}$ et $\frac{23,5}{1000}$ » ...	10	22,7
	en plus de $\frac{23,5}{1000}$ » ...	10	22,7

Ces résultats donnent lieu à diverses remarques.

1° *Défaut d'homogénéité des échantillons.* — Ces poudres ne sont pas homogènes : elles ne sont pas chacune formée d'un type unique comportant quelques écarts, comme il arrive toujours dans une fabrication courante. S'il en était ainsi, en effet, la durée moyenne de combustion serait voisine de celle de la majorité des grains et le nombre des grains plus vifs ou plus lents que la moyenne décroîtrait rapidement, à mesure que l'on considérerait les durées de combustion plus éloignées de cette moyenne. Or il n'en est pas ainsi : nous voyons dans chaque poudre figurer pour une proportion considérable, 65 pour 100 dans le premier cas et 41 pour 100 dans le deuxième, un même type de grain de vivacité maxima comprise dans la limite étroite de $\frac{11,5}{1000}$ à $\frac{15,5}{1000}$ de seconde : cette poudre forme évidemment le fond de la fabrication allemande.

A ce type fondamental sont associés, dans des proportions va-

riables, des échantillons plus lents et qui se distinguent moins nettement. Pour la poudre PRH, 24^{cm}, ces échantillons lents ont des durées de combustion ne dépassant guère $\frac{20}{1000}$ de seconde, et les deux grains un peu plus lents observés peuvent être regardés comme accidentels.

Pour la poudre PRH, 27^{cm} à 42^{cm}, la proportion des échantillons lents s'élève beaucoup et les durées de combustion s'étendent bien au delà de la limite de $\frac{20}{1000}$ de seconde. Il semble qu'un type de grain, brûlant entre $\frac{18}{1000}$ et $\frac{23,5}{1000}$ de seconde, entre pour une forte proportion dans le mélange (30 pour 100 environ). Ce mélange d'échantillons plus dissemblables, qui caractérise la poudre PRH, 27^{cm} à 42^{cm}, se fait sentir d'ailleurs dans l'écart moyen, qui s'élève au double de celui qui concerne la poudre PRH, 24^{cm}.

2° *Relation entre les propriétés physiques et la durée de combustion.* — Les différences considérables dans les durées de combustion, observées sur les divers grains, ne correspondent à aucune différence d'aspect, de couleur ou de texture, appréciable à l'œil : nous avons pu, grâce au mode d'expérimentation qui n'utilise qu'une fraction des grains, rapprocher ceux d'entre eux qui avaient donné les mêmes durées de combustion et comparer les divers groupes. Dans chaque groupe, on observe de notables différences entre les grains qui le composent, soit au point de vue de la coloration, soit au point de vue de l'agglomération des grains élémentaires qui forment, par compression, le grain prismatique; mais tel grain qui a brûlé en $\frac{45}{1000}$ de seconde peut être rigoureusement confondu avec un autre qui a donné la durée, 4 fois moindre, de $\frac{11,5}{1000}$ de seconde.

Les densités paraissent toutefois en rapport avec la vivacité. Ainsi, la densité de deux grains ayant fourni la densité de $\frac{35}{1000}$ de seconde a été trouvée de 1,882; six grains dont la durée de combustion était de $\frac{12}{1000}$ de seconde ont donné 1,853 pour leur densité.

3° *Régularité de combustion des diverses parties d'un même grain.* — La mesure de la durée de combustion ne portant que sur un secteur découpé dans le grain, il nous a été possible de contrôler l'exactitude de nos déterminations, en répétant l'expérience sur la portion qui n'avait pas été utilisée tout d'abord.

Les nouveaux résultats obtenus sont rapprochés des premières mesures dans le Tableau suivant :

TABLEAU XXXII.

NUMÉRO de l'expérience.	DURÉES 1re mesure.	NUMÉRO de l'expérience.	DURÉES 2e mesure.
	ms		ms
149	11,60	166	11,75
151	13,10	173	11,98
128	12,34	182	13,36
129	11,62	183	11,62
141	12,96	185	12,53
142	12,88	186	11,58
145	12,43	188	12,86
130	21,80	168	22,44
143	27,25	187	28,24
132	20,58	170	17,63
146	22,58	171	29,31
131	31,02	169	23,30
137	27,44	184	20,54
139	45,08	167	33,42
148	45,63	165	37,11

On voit que pour les 7 premiers grains, c'est-à-dire pour la totalité des grains vifs brûlant entre 11,5 et 14 millièmes de seconde, ceux que nous avons considérés comme formant le type fondamental des poudres allemandes, les deux mesures coïncident rigoureusement à moins d'un millième dans la plupart des cas.

Pour les grains lents, au contraire, sauf deux ou trois exceptions, les écarts de deux déterminations sont notables : ils atteignent jusqu'à 10 et 11 millièmes dans les cas extrêmes.

Il nous paraît évident que l'origine de ces divergences doit être cherchée dans les conditions de la fabrication de ces grains. Nous avons vu, en effet, par l'étude des phases successives de l'agglomération des matières grenées, que le premier effet des compressions croissantes est de substituer au grain élémentaire un système régulier de noyaux dont les durées de combustion peuvent atteindre trois et quatre fois la durée de combustion du grain primitif. Mais, si l'on veut dépasser cette limite et si l'on demande trop à la compression, l'agglomération cesse d'être régulière, les noyaux deve-

nant de l'ordre de grandeur des dimensions du grain total, et l'on tombe dans la zone critique qui précède la formation de matières compactes et pour laquelle l'influence des dimensions extérieures du grain commence à se faire sentir. Tel paraît être le cas des grains lents et denses dont l'irrégularité de combustion est mise en évidence par nos essais.

Pour éviter cet inconvénient, c'est à la lenteur du grain élémentaire qu'il convient de recourir sans accroître démesurément la compression finale.

Ces perturbations de fabrication permettent d'expliquer un fait souvent invoqué comme preuve du mode de combustion par couches parallèles des poudres brunes : dans le tir des bouches à feu de gros calibre, on retrouve fréquemment en avant de la pièce des fragments de poudre incomplètement brûlés, éteints par la brusque détente des gaz accompagnant la sortie du projectile. Ces grains ou fragments de grains conservent parfois, dans le cas des poudres brunes, la forme du grain prismatique à canal central dont ils constituent le résidu.

Il y a lieu de remarquer tout d'abord que ces grains ne se retrouvent qu'en très petit nombre et que leur fonctionnement ne saurait représenter celui de la totalité de la charge; les résultats balistiques obtenus ne permettant pas d'admettre qu'une fraction aussi considérable de cette charge se trouve inutilisée.

Ces grains sont donc exceptionnels, et la seule conclusion légitime que l'on puisse tirer de l'observation, c'est qu'ils ne brûlent pas comme les autres grains. Les observations faites au chapitre III nous ont montré avec quelle rapidité les variations de densité des matières agglomérées influent sur la durée et sur le *mode de combustion*.

Il paraît donc certain que les fragments recueillis proviennent de grains dans lesquels la compression, excessive et mal répartie, a déterminé la soudure du grain entraînant le fonctionnement par couches parallèles et une lenteur de combustion qui rend la matière à peu près inutilisable dans l'arme.

Les grains recueillis à la bouche de la pièce ne peuvent donc fournir aucun renseignement sur le mode de fonctionnement normal : ils témoignent simplement des imperfections de la fabrication.

Poudres prismatiques brunes RWP.

L'étude de la régularité de la poudre RWP a été faite dans les mêmes conditions que celle des échantillons PRH.

Le tableau suivant donne les durées observées pour la combustion, à la densité de chargement 0,6, de secteurs découpés dans 13 grains prélevés en divers points d'une caisse de poudre d'origine allemande.

TABLEAU XXXIII.

NUMÉROS des expériences.	DURÉES en millièmes de seconde.	$\frac{dp}{dt}$ M. T
236	10,57	407,3
235	11,27	365,2
232	12,03	
229	12,08	
233	12,32	
234	12,47	
237	12,52	
231	13,04	
228	13,28	367,2
93	13,85	
83	14,08	
22	15,30	
227	16,59	286,1
Moyenne.....	13,08	
Écart moyen...	1,19	

Cet échantillon est plus vif que les échantillons de poudre PRH, 24^{cm} (D_e=15,86; Em=3,30), 27^{cm} à 42^{cm} (D_e=20,78; Em=6,99), et ce résultat est d'accord avec les données fournies par le tir. On remarque également sa régularité très grande, caractérisée par la faible amplitude des variations des $\frac{dp}{dt}$ maxima et par la faible valeur de l'écart moyen, qui est trois fois moindre que celle qui a été observée pour le PRH, 24^{cm}, et six fois moindre que celle de PRH, 27^{cm} à 42^{cm}.

Ce résultat se trouve confirmé par une observation consignée dans les procès-verbaux de la commission de Gâvre. Tandis que

des grains presque entiers de poudre PRH n° 2 étaient recueillis à la bouche, dans le tir du 27^{cm} de la marine, la poudre RWP n'était retrouvée que sous forme de fragments de très petites dimensions, dans le tir de la même pièce.

Cet échantillon est formé d'une poudre presque identique à celle que nous avons signalée comme constituant le type fondamental des poudres PRH et, d'autre part, la densité des grains RWP a été trouvée de 1,847, c'est-à-dire voisine de la densité 1,853 présentée par les grains PRH donnant les mêmes durées de combustion, soit 12 millièmes de seconde environ.

Étude des poudres lissées.

Les poudres du type des poudres noires ordinaires, poudres Pebble, poudres 30/40, etc., présentent, indépendamment des causes d'hétérogénéité dues au défaut d'identité des grains qui composent une charge, un défaut spécial d'homogénéité qui n'existait pas pour les types que nous venons de passer en revue : ce sont des poudres lissées.

L'opération du lissage consiste à faire tourner les grains encore humides dans des tonnes de grandes dimensions. Les poudres s'échauffent par friction, leurs arêtes s'émoussent et ils se recouvrent d'une sorte de croûte polie dont la densité est sensiblement supérieure à celle de la masse intérieure.

Dans les idées généralement admises et fondées sur l'hypothèse d'une combustion par surfaces parallèles, cette opération constitue des poudres progressives dont les couches extérieures plus lentes brûlent tout d'abord, le noyau plus vif n'entrant en jeu qu'après un certain temps de combustion.

Nous nous sommes proposé de rechercher dans quelle mesure ce fonctionnement hypothétique était réalisé dans la pratique.

Étude de la poudre 26/34. — Une première série de recherches a porté sur deux lots de poudre de même type, mais présentant des dosages légèrement différents. Un lot A était au dosage 75-10-15 et un lot B au dosage 75-12,5-12-5. Chaque lot comportait deux échantillons conservés dans des conditions variables, à

Cherbourg et à Toulon, conditions dont on s'était proposé de rechercher l'influence sur le mode de combustion.

Les expériences n'ont pas permis de mettre en évidence une différence notable entre les divers échantillons, mais elles ont, du moins, fourni des renseignements importants sur le mode de combustion de ce type de poudre.

Indépendance des durées de combustion et des épaisseurs. — On s'est assuré tout d'abord, sur l'un des échantillons, que la matière subsistant après l'élimination des croûtes de lissage présentait bien le mode de combustion sensiblement indépendant de l'épaisseur que nous avons reconnue (chapitre II) sur des poudres similaires.

A cet effet, les grains ont été découpés à la scie, de façon à enlever sur toute leur surface une couche de 4^{mm} à 5^{mm} d'épaisseur. Dans le prisme ainsi obtenu, on découpait soit des blocs prismatiques à base carrée de 15^{mm} à 16^{mm} de côté et de 27^{mm} de hauteur, formant à eux seuls la charge, soit des plaquettes de 6^{mm} d'épaisseur, qui entraient au nombre de deux ou trois dans une charge.

Les combnstions ont été faites à la densité de chargement 0,6, sous les pressions maxima de 2700^{kg} environ.

Les résultats obtenus sont les suivants :

TABLEAU XXXIV.

Échantillon A. — *Toulon.*

BLOCS. Épaisseur minima 15 à 16mm.			PLAQUETTES. Épaisseur minima 6mm.		
Numéro de l'expérience.	Durées observées.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Numéro de l'expérience.	Durées observées.	$\frac{dp}{dt}$ M.
	ms	T		ms	T
375	7,13	1425	387	6,09	1397
377	6,38	1271	389	6,34	1067
379	6,79	1028	390	4,87	1433
380	5,49		415	6,58	
381	4,56		417	5,16	
382	4,72		Moyenne.....	5,81	
Moyenne.....	5,85		Écart moyen...	0,80	
Écart moyen...	0,92				

Les épaisseurs minima variant dans le rapport de 1 à 2,5, les durées de combustion et les valeurs des $\frac{dp}{dt}$ M sont à peine modifiées : ces éléments caractérisent donc la matière composant l'intérieur du grain, indépendamment de ses dimensions.

Il a paru inutile d'étendre cette vérification aux autres échantillons.

Comparaison des lois de combustion de la matière interne et des croûtes de lissage. — On a rapproché, dans le tableau suivant, les durées de combustion (D_e) et les valeurs de $\frac{dp}{dt}$ M obtenues dans un grand nombre d'expériences comparatives portant sur le bloc central et sur les croûtes des divers échantillons. Ces croûtes étaient obtenues en enlevant à la scie, sur les six faces des grains, des plaques superficielles de 4^{mm} à 5^{mm} d'épaisseur.

Tableau XXXV.

NATURE de l'échantillon.	BLOC CENTRAL. Numéro de l'expérience.	Durées de combustion.	$\frac{dp}{dt}$M.	CROUTES DE LISSAGE. Numéro de l'expérience.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$M.
		ms	T		ms	T
A. Toulon.....	375	7,13	1425	414	6,99	732
	377	6,38	1271	416	8,09	660
	379	6,79	1028	422	7,14	»
	380	5,49	1089	424	6,78	»
	381	4,56	»	425	7,68	736,4
	382	4,72	1222	428	7,41	»
	Moyenne.....	5,85		Moyenne...	7,35	
	Écart moyen....	0,92				
A. Cherbourg...	399	5,74	1719	412	9,07	689
	400	5,78	»	455	7,02	728
	405	5,66	1204	Moyenne...	8,04	
	406	5,85	»			
	407	5,83	1168			
	408	5,98	»			
	Moyenne.....	5,81				
	Écart moyen....	0,08				
B. Toulon.....	397	4,73	1230	413	8,57	719,1
	398	6,56	1117	454	7,43	698,7
	401	4,34	1284	Moyenne...	8,00	
	402	7,22	1326			
	403	6,06	1424			
	404	6,40	1099			
	Moyenne.....	5,88	1247			
	Écart moyen....	0,90				
B. Cherbourg...	376	6,74	1019	418	8,39	705
	378	5,95	1569	420	5,46 (écarté)	896 (écarté)
	383	4,91	1079	423	8,63	720
	384	5,86	1451	426	8,18	669
	385	5,13	1160	427	8,61	671
	386	5,72	1064	429	6,43	»
	Moyenne.....	5,72	1224	Moyenne...	8,05	
	Écart moyen....	0,29				
Moyenne des 4 échantillons....		5,81			7,62	

Ces résultats donnent lieu à plusieurs remarques :

1° Les divers échantillons fournissent des résultats concordants, soit pour les durées de combustion, soit pour les $\frac{dp}{dt}$M, et il y a lieu, par suite, de considérer les valeurs moyennes de ces éléments comme caractéristiques du type de poudre 26/34.

2° La *partie interne du grain* 26/34 s'étendant, au minimum, à la moitié de la masse entière de ce grain, présente le mode de combustion indépendant de l'épaisseur que nous avons étudié sous le nom de *mode de combustion par noyau*. L'allure de cette combustion est beaucoup plus rapide que celle des poudres brunes que nous avons passées en revue; elle diffère, en outre, par la *loi de l'émission gazeuse*.

Si l'on compare, en effet, comme nous l'avons fait pour les poudres brunes, la valeur des $\frac{dp}{dt}$ maxima à la vitesse moyenne de développement de la pression $\frac{P_m}{D_e}$, on trouve que le rapport de ces quantités, qui était de 1,70 pour les poudres PRH ou RWP, est constamment supérieur à 2,50 et s'élève à 3,00 en moyenne pour les poudres 26/34. La loi de combustion des matières composant la partie interne du grain est donc caractérisée par l'intensité de l'émission dans les premiers instants de la combustion et par la lenteur extrême du raccordement final. Il en résulte que la détermination de la durée totale de combustion manque de précision et ne saurait être considérée comme absolue. Il y a lieu de rapprocher cette particularité, présentée par le tracé, du mode de fabrication des poudres 26/34, qui comporte l'agglomération à la presse d'un mélange de grain et de poussier, tandis que le grain seul est utilisé dans la fabrication des poudres brunes. On conçoit aisément que ce défaut d'homogénéité des matières premières renforce l'émission initiale, qui se trouve rapidement réduite par une sorte de triage des éléments les plus vifs opéré par la combustion, à l'émission provenant des matières les plus denses.

3° Les données relatives à la combustion des *croûtes de lissage* mettent en évidence un écart considérable entre la vivacité des couches superficielles et celle de la partie interne du grain. Les durées de combustion des croûtes sont, en effet, supérieures

de près de moitié aux durées observées pour le noyau central, mais c'est dans la comparaison des $\frac{dp}{dt}$ maxima que cette différence apparaît de la façon la plus nette. L'émission maxima n'est guère, pour les croûtes, que la moitié de celle qui correspond au noyau, et, si l'on remarque que ces croûtes, taillées arbitrairement à l'épaisseur de 4^{mm} à 5^{mm}, comprennent forcément encore une proportion considérable de matières présentant la constitution de la partie interne du grain, on est conduit à attribuer aux couches superficielles qui ont subi l'action du lissage un mode de fonctionnement très différent de celui de la matière interne et rappelant la combustion des matières compactes que nous avons antérieurement étudiées.

En attribuant à ces couches denses la vitesse de combustion limite de 8^{cm} par seconde, que les mêmes matières rendues compactes nous ont fournie dans des expériences effectuées sous la même pression maximum, on serait conduit, par la durée de combustion observée, à fixer à $1^{mm},5$ environ l'épaisseur de la matière transformée par le lissage, c'est le $\frac{1}{4}$ de la masse totale du grain.

Il est probable qu'en réalité l'épaisseur sur laquelle l'influence du lissage s'exerce est plus considérable et que la structure de la matière se modifie progressivement, de l'extérieur à l'intérieur, jusqu'à devenir identique à celle du noyau pour des épaisseurs de 2^{mm} ou 3^{mm} au plus.

Les tracés témoignent d'ailleurs nettement, par leur forme, de la nature encore hétérogène des croûtes soumises à la combustion.

Le rapport $\frac{\frac{dp}{dt}M}{\frac{P_m}{D_e}}$ de la tangente d'inflexion à la vitesse moyenne de développement de la pression s'élève, en effet, à 2 environ, tandis que des plaques minces et homogènes donneraient un rapport voisin de l'unité, comme nous l'avons vérifié par la combustion de matières compactes.

Combustion du grain total. — Il nous reste à examiner quel est le rôle de ces croûtes dans la combustion du grain total et à vérifier si le mode de combustion par surfaces parallèles qui, ainsi que nous l'avons vu, ne s'applique pas au noyau du grain, ne

se réalise pas pour les couches superficielles denses, dont nous venons de mettre en évidence les propriétés très différentes : pour être efficace et retarder, d'une façon appréciable, l'émission initiale, il faudrait que cet enduit protecteur du noyau fût continu et sans défaut. La moindre déchirure, laissant l'inflammation se faire jour dans la masse poreuse interne, compromet le fonctionnement, car elle entraîne la désagrégation immédiate de la masse et du grain tout entier, et sa résolution dans les éléments qui règlent la durée de combustion. Or il suffit de jeter les yeux sur une charge de poudre à gros grains quelconque pour s'assurer qu'un nombre considérable de grains présentent des altérations de surfaces importantes, résultant des manipulations nombreuses auxquelles ils sont soumis, après le lissage, au cours des mélanges et des emballages.

La comparaison des modes de combustion du grain entier, du bloc central et des croûtes extérieures a fait l'objet d'une deuxième série d'expériences portant sur le premier lot de poudre 26/34 de l'année 1887, d'Angoulême. Ce lot est un peu plus lent que les échantillons précédents. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus à la densité de chargement 0,6. Les grains ont été choisis parmi ceux qui présentaient les surfaces les mieux lissées et les plus intactes.

TABLEAU XXXVI.

GRAINS ENTIERS.				BLOCS CENTRAUX.				CROUTES EXTÉRIEURES.			
Numéro de l'expérience.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Pression maxima.	Numéro de l'expérience.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Pression maxima.	Numéro de l'expérience.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Pression maxima.
	ms	T	kg		ms	T	kg		ms	T	kg
1555	10,3	1182	2941	1580	9,36	1124	2892	1562	11,92	550,3	2753
1556	Tracé incomplet	966	2950	1583	10,5	1369	2777	1581	12,81	385,3	2955
1559	9,4	1162	2873	1588	6,0	1281	2878	1585	13,8	425,4	2849
								1586	13,1	431,1	2687
								1589	11,4	453,0	2839

Les diagrammes ci-après (*fig.* 18) représentent les lois de développement des pressions en fonction du temps déduites de la

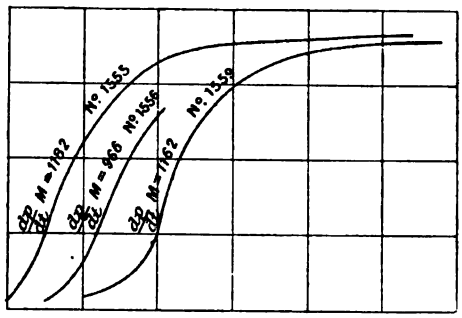
lecture des tracés. Ils mettent en évidence l'allure spéciale de la

Fig. 18.

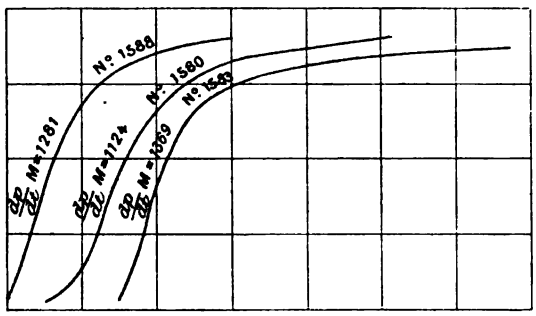
Combustion de la poudre 26/3½.

Échelle... { Ordonnées : 10^{mm} pour 800^{kg}.
Abscisses : 10^{mm} pour $\frac{1}{1000}$ de seconde.

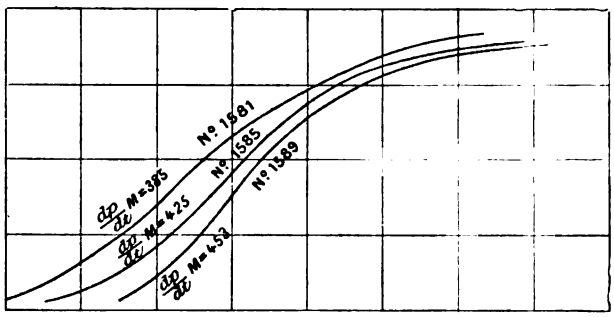
Grains.



Blocs.



Croûtes.



combustion des poudres hétérogènes, formées d'un mélange de

grain et de poussier, que nous avons déjà signalée. La combustion de ces mélanges est caractérisée par l'intensité de l'émission initiale et l'extrême lenteur du raccordement final. Cette dernière particularité rend compte des anomalies de durées totales observées dans cette série d'expériences. L'évaluation du point où se termine le tracé présente, en effet, une incertitude très grande, variable avec la finesse du tracé. Il est d'ailleurs évident que la durée totale caractérise mal l'allure de la combustion de ce type de poudre et que c'est au $\frac{dp}{dt}$ M qu'il convient de reporter les comparaisons.

On voit que l'émission maxima du grain entier diffère à peine de celle du bloc central : la lecture des tracés montre que ce maximum se produit pour la même valeur de la pression et, si l'on considère la loi de développement des pressions supérieures à 300^{kg} environ, on peut dire que l'influence des croûtes n'apparaît pas dans la loi de combustion du grain, si ce n'est dans la faible mesure où peut influer le mélange d'une petite proportion de matière lente à une masse principale beaucoup plus vive. Or cette phase de la combustion correspond à l'utilisation des $\frac{9}{10}$ du grain de poudre. C'est donc exclusivement dans la période initiale de combustion sous des pressions ne dépassant pas 200^{kg} ou 300^{kg} que l'influence des croûtes de lissage peut se faire sentir.

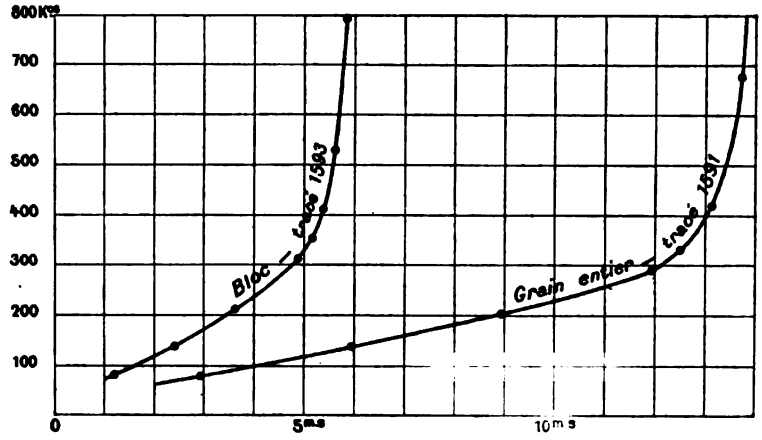
Nous avons cherché à mettre en évidence la réalité de cette influence en comparant les tracés très amplifiés de cette première période de combustion du grain entier et du bloc central. A cet effet, on a substitué aux cylindres de cuivre réglementaires des cylindres beaucoup moins résistants, de $4^{mm},90$ de hauteur et de 3^{mm} de diamètre, utilisés pour la mesure des pressions dans les armes de petits calibres.

La partie finale du tracé est sacrifiée, le cylindre se trouvant réduit à l'état de disque plat sous les pressions supérieures à 700^{kg} ou 800^{kg}, mais la partie initiale du tracé donne avec précision la loi de développement des pressions les plus faibles.

Les diagrammes ci-après (*fig.* 19) mettent en évidence une différence sensible des modes d'action du grain entier et du bloc central sous des pressions inférieures à 300^{kg}, puis on voit apparaître au delà l'identité de fonctionnement signalée plus haut.

En résumé, les croûtes de lissage réalisent dans une faible mesure l'atténuation de l'émission initiale qui pouvait leur être attribuée *a priori;* mais, tandis que le fonctionnement théorique de combustion par couches parallèles conduirait à étendre *au minimum* ce ralentissement de l'émission jusqu'à la combustion

Fig. 19.



du $\frac{1}{4}$ ou de $\frac{1}{3}$ de la masse du grain, c'est-à-dire pour la densité de chargement 0,6, jusqu'à des pressions de 700^{kg} à 900^{kg}, l'action réelle ne s'exerce que dans des limites beaucoup plus restreintes, jusqu'à des pressions de 300^{kg} correspondant à la combustion de $\frac{1}{10}$ de la masse du grain.

La croûte de lissage des poudres 26/34 fonctionne donc comme une enveloppe de qualité médiocre, qui ne protège le noyau central que sous les pressions les plus faibles.

Poudres C_1 *et* C_2. — Les poudres de faibles dimensions utilisées dans les canons de petit calibre ne se prêtent pas à l'étude séparée des éléments constituants que nous a permis d'effectuer la poudre 26/34. Il est cependant possible de montrer que leur fonctionnement ne diffère pas de celui de cette dernière poudre. Les poudres C_1 et C_2 présentent, en effet, un clivage facile, perpendiculaire à leur épaisseur. On peut donc comparer les tracés obtenus par la combustion des grains entiers et des demi-grains

clivés, d'épaisseur moitié moindre. Ces poudres présentent les caractères suivants :

	C_1.	C_2.
Nombre de grains au kilogramme	1750	640
Épaisseur	$6^{mm},5$	$8^{mm},0$
Densité	1,750	1,775

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus à la densité de chargement 0,6 pour la poudre C_1 et à une densité un peu supérieure pour la poudre C_2.

TABLEAU XXXVII.

NATURE de la poudre.	GRAINS ENTIERS.				DEMI-GRAINS CLIVÉS.			
	Numéro de l'expérience.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Pression maxima.	Numéro de l'expérience.	Durée de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	Pression maxima.
		ms	T	kg		ms	T	kg
Poudre C_1....	1561	6,13	1498	2839	1563	7,32	1152	2725
	1567	7,17	1442	2849	1565	6,00	1400	2744
Poudre C_2....	672	6,54	1963	3015	676	5,40	1787	3067
	673	6,03	1782	3219	677	9,13 (Raccordement de lenteur excessive)	1576	3115

Les tracés présentent l'allure caractéristique déjà signalée des poudres formées par agglomération de grains et de poussier, c'est-à-dire l'émission initiale violente et l'excessive lenteur de l'émission finale. Aucune différence n'apparaît entre la loi de combustion des grains entiers et des grains clivés à mi-épaisseur.

Ces poudres ne brûlent donc pas par couches concentriques et leur aplatissement ne joue, par suite, qu'un rôle secondaire dans leurs propriétés balistiques. Nous ajouterons même que l'étude de la phase initiale de combustion de la poudre C_1 normale et de la même poudre clivée à mi-épaisseur, faite à l'aide des cylindres de faible résistance de $4^{mm},90$, n'a permis de mettre en évidence aucune différence dans l'allure de la combustion sous les pressions les plus faibles; les tracés se sont trouvés superposables.

Nous avons cherché à contrôler les indications fournies par la combustion en vase clos, en effectuant le tir comparatif dans le

canon de 90^{mm} de la guerre, de deux échantillons formés l'un de poudre C_1 normale et l'autre de la même poudre clivée à mi-épaisseur. On s'est assuré que le nombre de grains au kilogramme du second échantillon était très exactement le double de celui du premier échantillon.

Les résultats du tir sont contenus dans le tableau suivant :

TABLEAU XXXVIII.

POIDS de la charge.	NOMBRE de coups.	GRAINS NORMAUX.		GRAINS CLIVÉS.		DIFFÉRENCE.	
		Vitesse à 35^{m}.	Pression.	Vitesse à 35^{m}.	Pression.	des vitesses.	des pressions.
kg		m	kg	m	kg	m	kg
1,500	1	376,1	1098	380,3	1156	+4,2	+ 58
1,750	1	413,3	1397	416,0	1752	+2,7	+355
1,900	2	434,0	1696	440,4	2234	+6,4	+538

L'influence du clivage aurait dû, dans l'hypothèse d'une combustion par surfaces parallèles, doubler sensiblement la vivacité de l'explosif et, d'après les formules de M. Sarrau, accroître de 40^{m} les vitesses et doubler les pressions. En fait, cette influence est sensiblement nulle sur les vitesses. L'influence sur les pressions, négligeable aux petites charges, devient, au contraire, considérable à la charge normale de 1^{kg},900. Mais, si l'on rapproche la surpression de 538^{kg} du faible gain de vitesse correspondant, on reconnaît que l'on n'est point ici dans les conditions de fonctionnement ordinaire d'une poudre plus vive, l'accroissement de pression normal dû à l'accroissement de vivacité étant de 36^{kg} par mètre de vitesse, tandis qu'il a ici une valeur triple.

On est donc conduit à considérer les excès de pression observés comme résultant des surpressions locales que comporte l'inflammation de poudres vives lorsque des artifices de lissage ou un arrimage spécial, comme celui des poudres prismatiques, ne concourent pas à l'inflammation uniforme de la charge sous faible pression.

Comparaison du mode de fonctionnement des poudres prismatiques et des poudres noires à gros grains.

Les observations faites au cours de ce chapitre permettent

d'établir une distinction importante entre le mode de fonctionnement des poudres prismatiques à grains moulés isolément et celui des poudres noires de l'ancien type formées par agglomération de grains et de poussier.

Ces deux types de poudre présentent la propriété commune de ne pas brûler par couches parallèles, mais l'allure de leur combustion et le mécanisme par lequel les deux procédés de fabrication dont elles dérivent permettent d'obtenir des poudres lentes sont entièrement différents.

Dans la combustion des poudres prismatiques, l'émission n'éprouve que des variations peu étendues, depuis le moment où les pressions atteignent 200 à 300 atmosphères jusqu'à la fin de la combustion, sous des pressions de 3000^{kg}.

Il en résulte que les durées totales de combustion ou les $\frac{dp}{dt}\,M$ peuvent indifféremment servir de mesure à la lenteur de la poudre, et nous avons vu que les procédés de fabrication permettent de faire varier cet élément dans des limites très étendues. Les poudres françaises de ce type présentent, par exemple, à la densité de chargement 0,6, des valeurs du $\frac{dp}{dt}\,M$ variant de 240 tonnes, pour la poudre PB_1, à 630 tonnes, pour la poudre PB_3.

Tout autre est le fonctionnement des poudres à gros grains de l'ancien type, formées par agglomération de grains et de poussier. Dans la combustion de ces poudres à la densité 0,6, l'émission subit des variations énormes; cette émission, d'abord retardée, devient subitement très grande, puis elle décroît et se prolonge longuement avec une valeur très faible accusant la composition hétérogène des matières constituant le grain.

Pour toutes les poudres de ce type, la valeur du $\frac{dp}{dt}\,M$ est considérable : elle ne varie que dans des limites étroites, lorsqu'on passe des poudres les plus vives, telles que

$$C_1\left(\frac{dp}{dt}\,M = 1300 \text{ à } 1400 \text{ tonnes}\right),$$

aux poudres destinées aux gros calibres, telles que la poudre 26/34 $\left(\frac{dp}{dt}\,M = 1100 \text{ tonnes}\right)$. Il semble donc que, sous toutes leurs formes, ces poudres fonctionnent toujours comme très

vives, leur adaptation aux divers calibres résultant d'un simple retard de la combustion sous des pressions ne dépassant pas 300^{kg}, retard obtenu par des artifices de lissage et de réduction des surfaces initiales d'émission par l'accroissement de la grosseur des grains.

C'est donc à ce point de vue seulement que les dimensions du grain peuvent intervenir. On conçoit, toutefois, que l'influence de ce retard initial, bien que très limitée, présente une réelle importance dans le fonctionnement balistique. Il permet en effet, d'une part, à l'inflammation de se propager dans les charges de grande longueur sans surpressions locales intenses et, d'autre part, au projectile de prendre les rayures sous de faibles vitesses, c'est-à-dire dans des conditions pour lesquelles le forcement de la ceinture peut être obtenu sans efforts excessifs.

Mais il y a lieu de se demander si un fonctionnement aussi artificiel, dans le cas des poudres à gros grains, est susceptible de se maintenir indéfiniment lorsque la poudre est soumise aux conditions de conservation souvent très dures de la pratique, et les accidents ou les anomalies observées plus d'une fois dans l'emploi balistique de ces poudres peuvent être rapprochés, à bon droit, de ces conditions délicates de fonctionnement.

Quoi qu'il en soit, ce mode de fabrication s'est trouvé impuissant à fournir les poudres lentes réclamées par les armes modernes de gros calibre.

En effet, les dimensions du grain, que le fabricant considérait comme la variable principale dont il pouvait disposer pour la production des poudres lentes, ne jouaient qu'un rôle tout à fait secondaire dans le fonctionnement des produits obtenus, et les améliorations réalisées dans cette voie résultaient de modifications peu étendues, portant sur l'accroissement de la densité et de la grosseur du grain élémentaire des poudres les plus grosses.

Tout le succès de la fabrication des poudres prismatiques tient à ce que l'on a cessé de demander inutilement aux dimensions du grain l'accroissement de lenteur des poudres reconnu nécessaire, en agissant sur les variables véritables dont nous avons reconnu le rôle prépondérant dans la formation des matières lentes.

L'emploi de matières premières à faible dosage de soufre et à base de charbon peu carbonisé a permis, toutes choses égales

d'ailleurs, de réduire les vitesses de combustion de près de $\frac{1}{3}$. En même temps, les densités ont subi un accroissement considérable, résultant de l'emploi de compressions plus énergiques et d'une remarquable propriété des charbons faiblement carbonisés. Ces charbons conservent, en effet, une rétractilité qui permet aux poudres d'augmenter de densité au cours du séchage.

Enfin, la facilité de chargement des moules prismatiques a conduit à l'emploi d'un grain élémentaire régulier, sans mélange de poussier, et nous avons vu quelle influence considérable cette modification dans les procédés de fabrication exerce, sur la loi de développement des pressions et la régularité de l'émission.

En résumé, le mode de fabrication des poudres prismatiques, abstraction faite de la forme que la pratique a donnée au grain, permet d'obtenir de véritables poudres lentes, d'un degré de lenteur quelconque, tandis que l'ancien procédé de fabrication, basé sur l'accroissement des dimensions des grains, ne fournissait que des poudres vives à fonctionnement retardé, dans des limites étroites, par des artifices d'une sécurité douteuse.

CHAPITRE VI.

MODE DE COMBUSTION DES POUDRES COLLOIDALES.

Ce type d'explosif balistique a été introduit en France vers la fin de 1884 (1) et son emploi s'est, depuis cette époque, progressivement généralisé dans tous les pays de l'Europe. Le caractère commun à toutes ces poudres est d'être constituées, en tout ou partie, par du coton-poudre gélatinisé par l'action de dissolvants appropriés. Dans la plupart des cas, ce dissolvant ne joue qu'un rôle transitoire dans la fabrication de l'explosif : il est éliminé presque complètement par volatilisation, et le colloïde, primitive-

(1) Voir la note insérée au tome III du *Mémorial* (p. 9).

ment riche en dissolvant, arrive, par polymérisations successives, à ne plus retenir que les doses excessivement faibles nécessaires au maintien de ces propriétés caractéristiques.

Dans quelques cas, le dissolvant ou, pour mieux dire, le corps gélatinisant, nitroglycérine, nitrobenzine, camphre, subsiste en quantités notables ou même constitue une fraction importante du composé final.

Mais, en somme, tous ces produits ne diffèrent pas comme constitution générale. C'est ainsi qu'une poudre à base de nitroglycérine peut perdre, à température modérée, la presque totalité de la nitroglycérine, sans que ses propriétés générales se trouvent modifiées. Ces matières constituent des masses homogènes à structure cornée et ne résultent point, dans les fabrications admises jusqu'à ce jour, de la juxtaposition d'éléments dont le mode de combustion régit celui de la masse entière.

De cette homogénéité et de cette compacité résulte, comme conséquence nécessaire, le mode de combustion par couches parallèles que nous avons vu apparaître dans les matières compactes obtenues par compression, lorsque les interstices deviennent de l'ordre de grandeur des interstices moléculaires.

L'étude du mode de combustion de ces poudres présente donc un caractère de grande simplicité, puisqu'il ne concerne qu'un seul des types de matières à fonctionnement varié que nous avons reconnus au cours de l'étude méthodique de la compression. Ce type répond à la quatrième phase de l'agglomération.

Nous passerons en revue un certain nombre de matières représentant les types principaux des poudres colloïdales actuellement en usage en France et à l'étranger.

I. — POUDRES COLLOÏDALES FORMÉES DE COTON-POUDRE PUR.

Ces poudres sont obtenues par la gélatinisation du coton-poudre plus ou moins nitré, par un dissolvant approprié à la solubilité du coton-poudre et à la texture du produit final à obtenir.

C'est ce type de poudre qui a prévalu dans les armements européens, en Allemagne, en Autriche, en Russie, en Suisse. La température de combustion de ces poudres est, en effet, inférieure de

près de 800° à celle des poudres colloïdales du genre cordite ou balistite, renfermant 50 à 60 pour 100 de nitroglycérine, et cet élément joue un rôle important dans la bonne conservation des armes de guerre.

L'échantillon **148**, que nous avons étudié sous diverses épaisseurs et à diverses densités de chargement, rentre dans la catégorie des poudres formées de coton-poudre pur et utilisant, comme dissolvant, l'*éther ordinaire*. Les charges étaient constituées par des plaques rectangulaires de 20^{mm} sur 20^{mm}, dont les épaisseurs étaient respectivement voisines de $0^{mm},5$, 1^{mm}, $1^{mm},5$ et 2^{mm}. A ce degré d'aplatissement, nous avons vu que le défaut de similitude géométrique des charges est sans influence sur la comparaison des durées de combustion.

Les tableaux suivants renferment les résultats de deux séries d'expériences, dans lesquelles les conditions d'inflammation étaient différentes. Dans la première série, l'allumage de la charge était obtenu uniformément par une amorce de $0^{gr},10$ de poudre de chasse extra-fine, remplaçant un poids trois fois moindre de la matière principale. Dans la deuxième série, l'amorce de poudre noire s'élevait à 15 pour 100 en poids de la charge théorique de poudre colloïdale et remplaçait 5 pour 100 du poids de cette dernière, en raison du rapport des forces des poudres.

TABLEAU XXXIX.

Première série.

DENSITÉS de chargement.	ÉPAISSEURS des matières.	DURÉES de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSIONS maxima.	VITESSES de combustion.	NUMÉROS des expériences.
	mm	ms	T	kg	cm	
0,1.....	0,53	7,93	206,7	1021	3,34	1041
	1,01	17,06	85,2	974	2,96	1042
	1,48	22,70	56,6	970	3,26	1043
	1,98	30,78	42,04	869	3,22	1044
0,2.....	0,54	3,48	886,3	2282	6,65	1045
	1,00	9,18	364,3	2094	5,41	1046
	1,47	17,13	230,4	2220	4,29	1047
	1,99	22,95	160,5	2104	4,34	1048

TABLEAU XL.

Deuxième série.

DENSITÉS de chargement.	ÉPAISSEURS des matières.	DURÉES de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSIONS maxima.	VITESSES de combustion.	NUMÉROS des expériences.
	mm	ms	T	kg	cm	
0,02	0,55	27,58	9,90	155,0	1,00	1306
		28,24	8,00	144,0	0,97	1310
	0,99	61,75	3,29	138,6	0,80	1314
	1,9	117,60	1,10	115,0	0,83	1316
0,2.....	0,55	4,35	1091,0	2436,0	6,32	1307
		4,35	1061,0	2395,0	6,32	1311
	0,99	9,59	535,4	2305,0	5,16	1313
	1,99	18,55	239,5	2225,0	5,36	1317

La légère supériorité des vitesses de combustion relatives aux matières d'épaisseur minima paraît devoir être attribuée à l'évaluation inexacte de l'épaisseur. Les matières, en effet, présentent superficiellement un léger chagrinage qui tend à fausser la mesure, et l'importance de cette erreur est d'autant plus grande que l'épaisseur est plus faible. Une autre cause de relèvement des vitesses de combustion aux faibles épaisseurs résulte de ce que les pressions dues aux poudres vives sont un peu plus fortes à égalité de charge que celles qui sont fournies par les poudres lentes de même nature; ce résultat est surtout sensible aux faibles densités de chargement. Le relèvement des pressions avec les poudres vives paraît tenir à la fois à l'atténuation des effets de refroidissement pendant la combustion et à une dessiccation plus parfaite des matières colloïdales les plus minces, ces matières conservant toujours une dose appréciable du dissolvant générateur.

Échantillon fabriqué à l'aide de l'éther acétique. — Les données suivantes sont relatives à un échantillon de même type, préparé à l'éther acétique.

TABLEAU XLI.

NATURE DE LA CHARGE.	DENSITÉ de chargement.	ÉPAISSEUR des plaques.	DURÉE de combustion	VITESSE de combustion.	PRESSION maxima.	NUMÉRO de l'expérience.
13 plaques de 20^{mm} de côté.	0,2	0^{mm},57	4^{ms},84	5^{cm},89	2449^{kg}	1547

On voit que l'emploi de dissolvants très différents ne modifie pas, d'une façon appréciable, les propriétés du produit final. Toutes ces matières présentent une compacité maxima caractérisée par des densités presque identiques et, dès qu'on cherche à s'en écarter par une atténuation des propriétés du dissolvant, on tombe presque sans transition sur des matières poreuses d'une extraordinaire vivacité, inutilisables au point de vue balistique.

II. — POUDRES COLLOÏDALES NITRATÉES.

Dans ces poudres, le colloïde, formé de coton-poudre et d'un dissolvant quelconque, est associé à une proportion variable de nitrates ou de corps nitrés dérivés de la série aromatique, nitronaphtalines ou autres. Ces poudres présentent certains avantages d'inflammabilité ou de facilité de fabrication qui balancent les inconvénients résultant de leur force plus faible que celle des poudres au coton-poudre pur et de la production d'une certaine quantité de fumée. Ces poudres sont utilisées en Allemagne, comme poudres de tir à blanc dans le fusil modèle 1889; elles ont même constitué les premières poudres dites sans fumées fabriquées à Wetteren et en Allemagne pour les armes de guerre de petit calibre, à la suite de la transformation de l'armement français. Le gouvernement français livre d'ailleurs à l'industrie, pour le tir des canons de grande puissance, des poudres BN de ce type.

Les données suivantes sont relatives à la combustion en vase clos, à la densité de chargement de 0, 2, d'une série d'échantillons d'épaisseur variable fabriqués suivant ce mode et renfermant environ 70 pour 100 de coton-poudre, 20 pour 100 de nitrate de baryte et 10 pour 100 de salpêtre.

Les charges comparées étaient constituées par des lames rectangulaires géométriquement semblables.

TABLEAU XLII.

Densité de chargement 0,2.

NATURE de la charge.	ÉPAISSEURS	DURÉES de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSION maxima.	VITESSE moyenne de combustion.	NUMÉROS des expériences.
	mm	ms	T	kg	cm	
Échantillon n° 5.	4,54	41,95	68,2	1860	5,41	1534
	2,27	19,52	139,8	1983	5,81	1535
	1,14	8,42	325,0	1834	6,77	1536
	0,51	3,36	794,1	1989	7,58	1537

Ces nombres comportent des observations identiques à celles qui ont été faites plus haut, au sujet du relèvement des vitesses de combustion aux faibles épaisseurs. Ils suffisent toutefois à établir que ces matières brûlent très sensiblement par surfaces parallèles.

III. — POUDRES COLLOÏDALES A BASE DE NITROGLYCÉRINE.

BALISTITES NOBEL. — Ces matières présentent un dosage voisin de 50 pour 100 de nitroglycérine et 50 pour 100 de coton-poudre, avec addition de petites quantités d'aniline qui donnent à la poudre une coloration d'un brun noir. Les balistites sont obtenues par la gélatinisation directe du coton-poudre par la nitroglycérine, sous l'influence de la compression et du cylindrage à chaud, sans addition de dissolvant.

Les matières ainsi obtenues sont loin de présenter des textures toujours identiques. Nous avons étudié deux échantillons.

1° *Échantillon de Bilbao.* — Cet échantillon, prélevé sur une livraison destinée à des essais balistiques, se présentait sous forme de filaments prismatiques à base carrée, de 5^{mm}, 4^{mm}, 3^{mm} de côté, découpés d'une façon très régulière et d'une remarquable compacité.

Les tracés ont été recueillis à la densité de chargement 0,2. Les charges présentaient un léger défaut de similitude résultant

de ce que la longueur des brins était constante pour les trois types de filaments et égale à 40^{mm}; mais nous avons vu qu'à ce degré d'aplatissement ces variations sont sans importance, parce qu'elles ne modifient pas sensiblement les rapports des surfaces d'émission.

Le tableau suivant renferme les éléments caractéristiques des tracés :

TABLEAU XLIII.

NATURE DES CHARGES.	DURÉES de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSION maxima.	VITESSE moyenne de combustion.	NUMÉRO de l'expérience.
	ms	T	kg	cm	
Filaments. Côté du carré $4^{mm},75$.	11,60	305,5	2588	17,56	1224
	12,37	312,0	2772	19,40	1229
Filam. Côté du carré $3^{mm},85$.	10,06	359,6	2485	19,08	1226
Filaments. Côté du carré $2^{mm},95$.	7,96	478,0	2504	18,87	1227
	8,10	478,2	2578	18,02	1228

L'identité des vitesses de combustion indique la combustion par surfaces parallèles.

2° *Échantillon d'Avigliana* (?). — Cet échantillon était constitué par une tablette de 10^{cm} de côté et de 20^{mm} d'épaisseur environ. La texture était sensiblement moins compacte que celle des échantillons précédents. Les charges, comparées à la densité de chargement 0, 2, étaient géométriquement semblables et composées, d'une part, d'un grain cubique de $14^{mm},6$ de côté et, d'autre part, de vingt-sept grains également cubiques de côté trois fois moindre, soit $4^{mm},87$.

Les éléments de ces expériences sont réunis dans le tableau suivant :

TABLEAU XLIV.

NATURE DES CHARGES.	DURÉES de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSION maxima.	VITESSE moyenne de combustion.	NUMÉRO de l'expérience.
	ms	T	kg	cm	
Bloc cubique de $14^{mm},6$.....	18,6	201,1	2565	39,24	1548
27 grains cubiques de $4^{mm},87$.	7,16	558,4	2644	34,06	1544

Les valeurs voisines des vitesses de combustion, malgré la variation considérable des épaisseurs, montre que ce type de matière brûle sensiblement par couches concentriques, bien que la vitesse de combustion soit environ double de celle des balistites de Bilbao.

Poudre V (*genre cordite anglaise*). — Cette poudre était au dosage de 50 nitroglycérine, 50 coton-poudre titrant 200^{cc} à 204^{cc} de bioxyde d'azote par gramme. Elle a été fabriquée à l'aide d'un dissolvant approprié, éliminé à peu près complètement par séchage. Les expériences de combustion à trois densités de chargement, 0,1, 0,2, 0,3 ont porté sur des plaques rectangulaires de 25^{mm} sur 21^{mm}, d'épaisseur égale à 0^{mm},75 et 2^{mm},36. Le léger défaut de similitude de ces charges très aplaties est sans influence sur la durée de combustion, ainsi qu'il a été dit.

TABLEAU XLV.

NATURE des échantillons.	DENSITÉS de chargement.	DURÉES de combustion.	$\frac{dp}{dt}$ M	PRESSIONS maxima.	VITESSES moyennes de combustion.	NUMEROS des expériences.
		ms	t	kg	cm	
Épaisseur 0^{mm},75...	0,1	2,72	644,4	1265	13,79	1019
	0,2	1,83	2386	2635	20,49	1018
	0,3	1,31	6092	4824	28,62	1020
Épaisseur 2^{mm},36...	0,1	7,42	161,7	1160	16,03	1022
	0,2	5,50	658,7	2542	21,45	1021
	0,3	4,08	1889	4554	28,92	1023

A toute densité de chargement, les vitesses de combustion de matières d'épaisseur variable du simple au triple présentent le degré d'identité qu'on peut espérer de la comparaison d'expériences isolées. Elles brûlent donc par surfaces parallèles.

En résumé, toutes les poudres colloïdales, sous les formes actuellement en usage, brûlent par surfaces parallèles. Les vitesses moyennes de combustion de ces matières, sous des pressions maxima de 2500^{kgr} environ, varient dans de larges limites, suivant la composition de la substance.

Cette vitesse, de 5^{cm} à 6^{cm} par seconde pour les poudres au co-

ton-poudre pur, s'élève à 20^{cm} et 40^{cm} pour les poudres à base de nitroglycérine de compacité défectueuse.

Si l'on rapproche ces vitesses de combustion des durées que nous avons précédemment trouvées pour la combustion des poudres noires ou brunes destinées aux pièces de gros calibre, soit $\frac{20}{1000}$ à $\frac{25}{1000}$ de seconde, on reconnaît que la production, à l'aide des matières colloïdales, de poudres présentant cet ordre de lenteur, exige que l'une au moins des dimensions de ces poudres ne dépasse pas l'épaisseur de 2^{mm} à 3^{mm} pour les poudres à base de coton-poudre, ou une épaisseur quadruple pour les poudres à base de nitroglycérine.

La nécessité de ces dimensions très faibles, par rapport aux calibres de 27^{cm} à 42^{cm} auxquels elles correspondent, rend compte du caractère filiforme ou lamellaire de toutes les poudres colloïdales actuellement en usage.

L'emploi de poudres cubiques de dimensions aussi faibles eût présenté, en effet, de graves inconvénients dans le tir de grandes charges, en raison des difficultés d'inflammation que ces grandes charges comportent.

On sait, en effet, que l'inflammation joue un rôle capital dans le bon fonctionnement balistique des explosifs. Toutes les fois que cette inflammation se trouve gênée par la petitesse des interstices qui subsistent dans la charge, interstices qui sont de l'ordre de grandeur des grains qui la composent et que l'émission gazeuse, au lieu d'être uniforme, se localise en certains points, les pressions cessent d'être régulièrement réparties dans la chambre à poudre, des phénomènes ondulatoires prennent naissance et l'on constate la production de surpressions locales parfois énormes et susceptibles de compromettre la résistance de la bouche à feu.

C'est en vue d'éviter ces inconvénients que le mode de chargement par bottes de filaments ou de lanières à grand aplatissement, disposées parallèlement à l'axe de la chambre à poudre, a été adopté dès l'origine de l'utilisation des poudres colloïdales.

Mais il importe de remarquer que cette solution ne pouvait être appliquée qu'à des matières flexibles et résistantes, comme le sont les produits colloïdaux, et qu'elle excluait l'emploi des matières fragiles formées, comme les poudres noires, par agglomération de matières cristallines. C'est donc, en résumé, à des propriétés

physiques de ténacité que se trouve liée la possibilité de l'emploi des matières colloïdales sous forme de produits brûlant par couches parallèles.

Ce mode d'emploi, sous forme de fils ou lanières à grand aplatissement, n'a d'ailleurs rien d'indispensable et il est possible d'utiliser ces matières comme les poudres noires, sous forme de grains de faible aplatissement, à la condition de parer aux difficultés d'inflammation par l'agglomération de ces éléments en grains prismatiques ou autres de grande dimension, fonctionnant comme charges comprimées résolubles en éléments de dimensions beaucoup plus faibles.

La supériorité balistique de l'un de ces deux procédés d'emploi, abstraction faite des facilités de fabrication, n'est point encore établie.

CHAPITRE VII.

LOI ÉLÉMENTAIRE DE COMBUSTION DES MATIÈRES COMPACTES.

Nous avons vu, au chapitre II, que dans la combustion des matières compactes, c'est-à-dire des matières brûlant par surfaces parallèles, il existe une relation géométrique qui lie l'épaisseur brûlée à la fraction de la charge brûlée, et, comme le tracé fournit la loi de variation de cette fraction brûlée en fonction du temps et de la pression, l'épaisseur brûlée est connue elle-même en fonction de ces variables, la vitesse de combustion peut alors être évaluée en fonction de la pression et définit complètement l'explosif au point de vue balistique.

Le type des calculs a été donné chapitre II.

Les résultats que nous avons recueillis par l'application de cette méthode sont encore fort incomplets et ne présentent pas toute la précision désirable. Les vitesses obtenues dépendent, en effet, de l'évaluation de différences successives de la valeur des pressions à

de courts intervalles, dans laquelle les erreurs de lectures prennent une importance considérable.

Nous avons, jusqu'ici, déduit ces différences des lectures brutes des tracés. Une compensation paraît devoir être effectuée dans des recherches ultérieures.

Il résulte, des études qui précèdent, que l'application de cette méthode aux explosifs usuels est fort limitée : les matières compactes ne sont, en effet, point utilisées directement dans la fabrication des poudres noires ou brunes ; seules, les poudres colloïdales rentrent dans cette catégorie.

I. — MATIÈRES DE POUDRES NOIRES OU BRUNES.

Il nous a paru, toutefois, intéressant de recueillir quelques données qualitatives sur l'influence qu'exerce la pression sur la vitesse élémentaire de combustion des matières de poudre noire ou brune, lorsqu'elles sont amenées, par une compression convenable, à brûler par surfaces parallèles.

Les résultats qui suivent concernent un certain nombre d'expériences effectuées, à diverses densités de chargement, sur des grains de formes diverses.

Matière de poudre 26/34 *A. Cherbourg* (*poudre noire*) *et de poudre brune.* — Les matières, pulvérisées et tamisées à la gaze de soie, étaient amenées à la densité de 1,900 par une compression à sec de 3600^{kg} par centimètre carré. Nous avons vu que, dans ces conditions, elles satisfont au criterium de combustion par couches parallèles.

TABLEAU XLVI.

Matières compactes de poudre noire.

TRACÉ 783.		TRACÉ 780.	
Pastilles de 20^{mm} de diamètre et de 3^{mm},70 de hauteur.			
$\Delta = 0{,}644$. — Pressions.	$P_m = 3240^{kg}$. — Vitesse élémentaire.	$\Delta = 0{,}345$. — Pressions.	$P_m = 1316^{kg}$. — Vitesse élémentaire.
kg	cm	kg	cm
380	4,62	446	5,80
785	7,85	628	5,93
1113	8,15	810	6,97
1441	8,70	1000	7,92
1758	8,47	1191	9,12
2075	9,86		
2410	11,00		
2735	11,05		

Ces nombres résultent des lectures brutes des tracés sans rectification d'aucune sorte, et il est facile de voir que les anomalies que présente la marche ascendante de la vitesse de combustion proviennent d'irrégularités peu importantes dans les différences successives des pressions observées, irrégularités que la continuité des tracés permet de regarder comme douteuses et qui, dans tous les cas, seraient attribuables à de petites perturbations de combustion qu'il conviendrait d'éliminer par une compensation des résultats.

Quoi qu'il en soit, il est possible de tirer de ces nombres quelques données qualitatives incontestables sur l'influence qu'exerce la pression sur la vitesse de combustion des matières compactes.

Les vitesses de combustion peuvent être évaluées à

			Vitesses correspondant à l'exposant $\frac{1}{3}$.
cm		kg	cm
6	sous la pression de	500.....	6,3
8	»	1000.....	7,9
10	»	2000.....	10,0
11	»	2800.....	10,9

Elles varient sensiblement comme l'exposant $\frac{1}{3}$ de la pression.

Il importe de remarquer que les nombres obtenus oscillent autour de la valeur de la vitesse moyenne déduite de l'observation, sous la même densité de chargement, de la durée totale de combustion et de l'épaisseur des matières.

Cette méthode a conduit à la valeur de 8^{cm} à la densité de chargement 0,6.

En second lieu, la loi de combustion de grains cubiques, bien qu'entièrement différente de celle des pastilles aplaties, conduit à des valeurs de même ordre, malgré des perturbations, à la fin de la combustion, qui s'expliquent par le défaut d'identité des grains et le triage des matières de plus faible dimension opéré par la combustion; c'est ce qui résulte des données contenues dans le tableau suivant :

TABLEAU XLVII.

TRACÉ 785. — Grains cubiques de $3^{mm},60$ de côté : $\Delta = 0,644$, $P_m = 3300^{kg}$.

PRESSIONS.	VITESSE élémentaire.
kg	cm
539	5,43
1234	7,85
1780	8,27
2231	8,06
2598	9,08
2882	8,25

TABLEAU XLVIII.

Matières compactes de poudre brune.

TRACÉ 380.		TRACÉ 481.		TRACÉ 562.		TRACÉ 563.	
Pastilles de 20mm de diam. et de 3mm,40 de hauteur.		Blocs de 20mm de diamètre et de 10mm,35 de hauteur.		Pastilles de 20mm de diam et de 3mm,40 de hauteur.		Pastilles de 20mm de diam. et de 3mm,40 de hauteur.	
$\Delta = 0,610$. — Pressions.	$P_m = 3067^{kg}$. — Vitesse élémentaire.	$\Delta = 0,601$. — Pressions.	$P_m = 3094^{kg}$. — Vitesse élémentaire.	$\Delta = 0,653$. — Pressions.	$P_m = 3614^{kg}$. — Vitesse élémentaire.	$\Delta = 0,347$. — Pressions.	$P_m = 1472^{kg}$. — Vitesse élémentaire.
kg	cm			kg	cm	kg	cm
496	5,06					337	3,26
786	4,76	835	5,78	843	4,63	448	3,70
1140	6,97			1265	5,67	578	4,84
1492	5,77	1453	5,38	1714	5,86	723	5,11
1799	5,81			2169	7,08	867	5,31
2069	4,96	2147	5,12	2621	6,68	999	4,88
2322	5,71			3037	6,88	1114	4,59
2760	6,13	2629	6,52			1221	4,71

En prenant la moyenne des valeurs des vitesses correspondant à des pressions voisines, on trouve les valeurs suivantes :

			Vitesses correspondant à l'exposant $\frac{1}{4}$.
cm		kg	cm
4,16	sous la pression de	416.....	4,16
5,12	»	833.....	4,95
5,72	»	2128.....	6,26
6,44	»	2672.....	6,65

Ces vitesses varient sensiblement comme la puissance $\frac{1}{4}$ de la pression; elles oscillent autour de la valeur de 5cm trouvée pour la vitesse moyenne de combustion déduite de la détermination de la durée totale de combustion et de l'épaisseur des mêmes matières brûlant sous les mêmes pressions.

En résumé, nous retrouvons, par l'étude complète des tracés fournis par les matières compactes, la confirmation des résultats principaux acquis antérieurement par une tout autre méthode :

1° Le mode de fonctionnement par couches parallèles se trouve confirmé par l'identité approchée des vitesses élémentaires obte-

nues dans la combustion des poudres de formes très différentes;

2° L'influence considérable de la composition de la matière apparaît dans les vitesses de combustion élémentaires, comme dans les vitesses moyennes antérieurement évaluées;

3° Enfin, quelque imparfaites que soient ces expériences, au point de vue de la détermination rigoureuse de la loi suivant laquelle les vitesses de combustion dépendent de la pression, elles suffisent à fixer l'ordre de grandeur de cette action.

II. — POUDRES COLLOÏDALES.

Poudre colloïdale au coton-poudre pur. — Le type de poudre expérimenté est celui qui est désigné au chapitre précédent, sous le nom de *charge* **148**.

TABLEAU XLIX.

TRACÉ 1328.		TRACÉ 1311.		TRACÉ 1312.		TRACÉ 1045.	
Lamettes							
$16^{mm},3 - 15,4 - 2,0.$		$43^{mm},0 - 17,5 - 0,55.$		$43^{mm},0 - 17,5 - 0,55.$		$15^{mm},6 - 15,9 - 0,54.$	
$\Delta = 0,3.$ — Pressions.	$P_m = 4108^{kg}.$ — Vitesse élémentaire.	$\Delta = 0,2.$ — Pressions.	$P_m = 2395^{kg}.$ — Vitesse élémentaire.	$\Delta = 0,1.$ — Pressions.	$P_m = 1013^{kg}$ — Vitesse élémentaire.	$\Delta = 0,2.$ — Pressions.	$P_m = 2282^{kg}.$ — Vitesse élémentaire.
kg	cm	kg	cm	kg	cm	kg	cm
330	5,36	377	3,66	190	2,63	476	4,46
630	7,06	527	4,48	289	2,74	847	6,45
973	7,26	694	4,56	392	2,92	1391	9,34
1365	9,31	886	5,69	530	4,74	1894	10,42
1845	11,29	1138	7,78	734	6,82		
2414	13,64	1486	10,59				
3052	15,20	1919	11,88				
3556	16,65						

Les moyennes des vitesses observées sous des pressions peu différentes conduisent à former le tableau suivant :

TABLEAU L.

PRESSIONS.	VITESSES.	VITESSES CALCULÉES par l'exposant $\frac{2}{3}$.
kg	cm	cm
366	3,98	3,65
511	4,56	4,56
860	6,55	6,45
1410	9,74	8,97
1886	11,19	10,89
2414	13,64	12,84
3052	15,20	15,01
3556	16,65	16,62

Les vitesses élémentaires varient sensiblement comme la puissance $\frac{2}{3}$ de la pression, c'est-à-dire que l'exposant est au moins double de celui qui régit la combustion des matières compactes de la poudre noire. Aussi les vitesses de combustion, inférieures à celles des poudres noires sous les pressions les plus faibles, arrivent-elles à être doubles de ces dernières sous les pressions de l'ordre de 3000^{kg}.

Les fonctionnements balistiques de ces deux types de poudres sont donc forcément différents.

Poudre colloïdale à base de nitroglycérine (50 *pour* 100). *Genre cordite.* — Ce type de poudre a été décrit au chapitre précédent.

TABLEAU LI.

TRACÉ 1018.		TRACÉ 1020.		TRACÉ 1333.		TRACÉ 1023.		TRACÉ 1021.	
Lames rectangulaires						Lamettes rectangulaires			
$20^{mm},90 - 24,88 - 0,75.$		$20^{mm}.90 - 24,88 - 0,75.$		$14^{mm},5 - 18,0 - 3,29.$		$27^{mm},0 - 21,5 - 2,36.$		$27^{mm},0 - 21,5 - 2,36.$	
$\Delta = 0,2.$ — Pressions.	$P_m = 2635^{kg}.$ — Vitesses.	$\Delta = 0,3.$ — Pressions.	$P_m = 4824^{kg}.$ — Vitesses.	$\Delta = 0,3.$ — Pressions.	$P_m = 4392^{kg}.$ — Vitesses.	$\Delta = 0,3.$ — Pressions.	$P_m = 4454^{kg}.$ — Vitesses.	$\Delta = 0,2.$ — Pressions.	$P_m = 2542^{kg}.$ — Vitesses.
kg	cm	kg	cm	kg	cm	kg	cm	kg	cm
200	8,36	530	15,73	527	17,17	539	22,20	216	10,32
487	15,60	1330	21,76	732	15,74	734	139,1	313	11,39
913	19,56	2669	38,37	966	22,86	974	24,28	542	15,24
1468	25,60	4069	44,54	1221	23,78	1033	27,72	752	16,46
2184	31,87			1483	25,04	1707	35,22	998	21,15
				1769	29,50	2212	43,65	1307	26,93
				2112	37,68	2790	45,28	1656	29,02
				2498	40,60	3401	47,11	2031	33,26
				2917	48,51	4051	51,94	2329	35,11
				3366	51,55				

Les moyennes des vitesses observées sous des pressions peu différentes conduisent à former le Tableau suivant :

TABLEAU LII.

PRESSIONS.	VITESSES.	VITESSES CALCULÉES. (Exposant 5/9 = 0,55).
kg	cm	cm
208	9,34	9,34
521	15,94	15,56
1036	21,92	23,32
1390	26,32	26,83
2209	37,08	34,71
2652	41,42	38,42
4060	48,24	48,67

Les vitesses de combustion élémentaires de ce type de poudre varient sensiblement comme la puissance $\frac{5}{9}$ de la pression, c'est-à-dire qu'elles paraissent un peu moins influencées par la pression que les éléments similaires relatifs aux poudres au coton-poudre pur, bien qu'en valeur absolue ces vitesses soient le triple de celles qui correspondent aux poudres colloïdales formées de coton-poudre pur.

Il est possible que la supériorité balistique de ce type de poudre, abstraction faite de ces inconvénients pratiques, soit en relation avec la valeur modérée de l'exposant des pressions; les formules de M. Sarrau ne permettent pas, en effet, de rapporter les avantages balistiques observés à la légère supériorité de force de ces produits que la mesure des pressions en vase clos permet de mesurer avec précision.

Cette force ne dépasse que de $\frac{1}{10}$ celle des poudres au coton-poudre pur.

Poudre colloïdale à base de nitroglycérine. Genre balistite Nobel. — Échantillon de Bilbao.

TABLEAU LIII.

TRACÉ 1226. — Prismes $3^{mm},60$, 3,60, 38,76; $\Delta = 0,2$; $P_m = 2485^{kg}$.

PRESSIONS.	VITESSES.	VITESSES CALCULÉES. (Exposant 0,6.)
kg	cm	cm
311	7,85	8,49
449	8,40	10,58
617	12,30	12,80
823	14,23	15,22
1051	17,06	17,63
1299	20,02	20,02
1553	22,24	22,29
1798	25,33	24,33
2022	26,09	26,11

Autant qu'il est possible d'en juger par une seule expérience, cet échantillon présente des vitesses élémentaires de combustion plus faibles que les poudres colloïdales du genre cordite. La loi de variation des vitesses avec la pression est sensiblement la même que pour ces dernières matières et peut être représentée par la puissance $\frac{6}{10}$ de la pression.

Les données acquises au cours de ce chapitre montrent que l'influence de la pression s'exerce de façons très différentes sur le mode de combustion des diverses matières explosives, alors même que ces matières fonctionnent comme matières compactes et brûlent par surfaces parallèles. La puissance de la pression suivant laquelle varie la vitesse de combustion varie de $\frac{1}{4}$ à $\frac{2}{3}$, en passant des poudres brunes compactes aux poudres colloïdales à base de coton-poudre pur.

Nous avons déjà observé, chapitre II, des variations de même ordre, relatives à l'influence de la pression sur le mode de combustion des poudres formées de matières identiques, mais de *compacité différente*. Il en résulte que la loi suivant laquelle l'émission de l'explosif est liée à la pression ne peut être déterminée d'une façon générale et que *c'est une caractéristique de la poudre considérée au même titre que sa force ou sa durée de combustion*.

CHAPITRE VIII.

RECHERCHE DES ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOSIFS AU POINT DE VUE BALISTIQUE.

Il nous reste à montrer comment les notions acquises, au cours de cette étude, sur le mode de fonctionnement des matières explosives, peuvent être utilisées à la prévision de leurs effets balistiques.

Les formules classiques de M. Sarrau établissent des relations nécessaires entre deux sortes d'éléments qui interviennent dans le tir : les uns définissent la bouche à feu et les conditions du chargement; les autres, la nature de l'explosif utilisé dans l'arme et son mode de fonctionnement.

Les éléments relatifs à l'arme sont connus avec précision. Il n'en est pas de même des éléments qui définissent la poudre. Dans les formules de M. Sarrau, l'explosif est caractérisé par deux quantités $\frac{fa}{\lambda}$ et $\frac{\tau}{\lambda}$, auxquelles il convient de joindre la loi suivant laquelle la vitesse élémentaire de la combustion dépend de la pression.

f est la force de l'explosif, a et λ définissent la forme et non les dimensions absolues de l'élément explosif dont la combustion peut être regardée comme s'effectuant par surfaces parallèles; τ est la durée de combustion de cet élément sous la pression atmosphérique, dans l'hypothèse de vitesses de combustion élémentaires proportionnelles à une puissance de la pression. En fait, l'exposant $\frac{1}{2}$ a été adopté par M. Sarrau pour toutes les poudres noires et a permis de représenter, avec une précision remarquable, les résultats balistiques des poudres de l'ancien type et, avec un degré d'approximation un peu moindre, ceux que fournissent les poudres brunes.

Parmi les éléments définissant l'explosif, un seul, la force, peut être évalué *a priori,* soit par un calcul théorique fondé sur

la connaissance du mode de décomposition de l'explosif, soit par la mesure directe des pressions développées en vase clos.

Les éléments relatifs à la forme ou à la durée de combustion n'ont pu être déterminés directement jusqu'à ce jour, et c'est aux résultats balistiques fournis par le tir préalable dans des armes déterminées que sont demandées les caractéristiques introduites dans les formules.

Cette sujétion conduit notamment, dans l'étude des poudres lentes dont le fonctionnement normal n'est assuré que par le tir de fortes charges, à la fabrication d'échantillons importants et à des essais onéreux.

Nous allons examiner comment des essais de laboratoire, de l'ordre de ceux qui ont été décrits au cours de ce travail, peuvent conduire à la détermination au moins approchée des éléments caractéristiques qui interviennent dans les formules.

I. — POUDRES DU TYPE DE LA POUDRE NOIRE.

Nous avons été conduit, par l'étude du mode de combustion sous pression des poudres usuelles du type de la poudre noire, à assimiler leur fonctionnement, dès les pressions les plus faibles, à la combustion de noyaux polyédriques dont la durée propre de combustion règle la durée de combustion de la charge. Ainsi s'explique l'impossibilité pratique de déterminer *a priori* les coefficients α et λ des formules par les formes extérieures du grain. Dans l'ordre d'idées auquel nous nous sommes arrêté, les noyaux constituants doivent être considérés comme sphériques en moyenne et, par suite, les éléments α et λ, qui caractérisent la forme, étant communs à toutes les poudres de ce type, peuvent être éliminés et passer dans les constantes.

Reste la valeur de τ.

Détermination expérimentale de τ. — τ représente, dans les formules de M. Sarrau, la durée de combustion sous une pression constante égale à la pression atmosphérique. Mais, comme cette pression n'assure pas la combustion des matières dans les conditions du fonctionnement balistique, il conviendrait de faire porter

la détermination directe sur la durée τ_p, relative à une pression p constante assurant la désagrégation normale du grain. Cette donnée fournirait la valeur fictive de τ, figurant dans les formules, par la relation $\frac{\tau_p}{\tau_0} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^m$, m désignant l'exposant de la puissance de la pression dont dépendent les vitesses élémentaires de combustion.

Si l'influence de la pression peut être regardée comme identique pour les divers types de matières, les valeurs de τ_p seront proportionnelles aux valeurs de τ, quelle que soit la valeur de la pression maximum commune choisie pour la comparaison : elles pourront, par suite, leur être substituées dans les formules à une constante près qui s'introduira dans les constantes générales.

Cette méthode, en principe très simple, présente de graves difficultés expérimentales : il ne suffirait pas, en effet, de déterminer la combustion du grain sous une pression élevée préalablement établie au moyen d'un gaz inerte. Dans ces conditions, en effet, il y aurait équilibre entre l'atmosphère extérieure au grain et l'atmosphère intérieure subsistant dans ses interstices, tandis que le mode de combustion, dans les conditions balistiques normales, résulte de l'écoulement sous haute pression des produits incandescents de la décomposition à travers les interstices que comporte la structure hétérogène du grain, et ce mécanisme paraît indispensable à la dislocation du grain.

Nous allons montrer comment les durées *totales* de combustion des diverses poudres en vase clos, sous des pressions croissantes atteignant une *même pression maxima*, peuvent fournir des quantités proportionnelles aux durées de combustion cherchées.

Les matières de poudre noire pouvant être considérées comme brûlant par noyaux sphériques en moyenne, leur *durée totale* de combustion T en vase clos, sous la pression maximum P, est donnée par l'expression que nous avons établie pour les grains géométriquement semblables,

$$T_p = q \int_0^P \frac{F(p)\,dp}{F_1(p)},$$

q étant le rapport de similitude; $F(p)$ une fonction commune aux matières explosives d'un même type et qui ne subit même que des

variations très faibles lorsqu'on passe des poudres noires aux poudres colloïdales, ces variations ne dépendant que de celles que subit le facteur $\frac{1-\alpha\Delta}{1-\frac{\Delta}{\delta}}$; $F_1(p)$ est la fonction de la pression qui détermine la vitesse élémentaire de combustion.

Si l'on considère des matières du type de la poudre noire de compositions différentes, mais de structure analogue, pour lesquelles l'influence de la pression s'exerce suivant la même loi, il conviendra de mettre en évidence un coefficient k caractéristique de la vivacité de l'explosif dans l'expression de la vitesse élémentaire V_p et d'écrire

$$V_p = kF_1(p),$$

$F_1(p)$ restant commun aux diverses poudres; on aura donc

$$T_p = \frac{q}{k}\int_0^P \frac{F(p)\,dp}{F_1(p)}.$$

D'autre part, la durée τ_p de combustion sous la pression constante p est de la forme

$$\tau_p = \frac{r}{V_p} = \frac{qR}{kF_1(p)},$$

r désignant le rayon du noyau sphérique, R le rayon du noyau pris comme terme de comparaison, V_p la vitesse élémentaire de combustion correspondant à la pression p.

Le rapport $\frac{T_p}{\tau_p}$ est donc constant pour toutes les poudres géométriquement semblables, pour lesquelles le coefficient $\frac{1-\alpha\Delta}{1-\frac{\Delta}{\delta}}$ et l'expression $F_1(p)$ de la vitesse élémentaire peuvent être considérés comme ayant les mêmes valeurs.

Nous avons vu également, chapitre III, que dans la combustion en vase clos de semblables matières, les tracés représentant la loi de développement des pressions en fonction des temps ne diffèrent que par l'échelle $\frac{k}{q}$ des temps et que, par suite, on peut substituer aux durées totales de combustion l'inverse des valeurs des tangentes aux points où la pression a une même valeur p et, en

particulier, l'inverse des valeurs des $\frac{dp}{dt}$ maxima, dont la détermination est l'abri des causes d'erreur résultant soit de l'amplitude variable des tracés, soit de l'incertitude des points de raccordement extrêmes.

Telle est la conclusion rigoureuse qui s'appliquerait à la comparaison de matières homogènes, et l'inverse des $\frac{dp}{dt}$ maximum des tracés obtenus en vase clos sous une même pression maximum P, arbitrairement choisie, fournirait aux formules des quantités proportionnelles aux valeurs de τ qui y figurent.

Extension aux poudres hétérogènes. — En réalité, le fonctionnement des poudres usuelles est beaucoup plus compliqué. Les exemples nombreux, relatés au chapitre V, montrent que les tracés relatifs aux différentes poudres ne dérivent pas d'un même tracé type par une simple modification de l'échelle des temps, ainsi que l'exigerait le fonctionnement de matières homogènes. L'allure de ces tracés se trouve profondément perturbée par le défaut d'homogénéité, soit des matières constituant la charge, soit même de celles qui se trouvent réunies dans un même grain lorsque les poudres résultent de l'agglomération de grains et de poussier, et que ces poudres sont lissées.

Il résulte de ces perturbations qu'il n'est plus indifférent de caractériser la loi de combustion par la durée totale de combustion ou par l'inverse du $\frac{dp}{dt}$ maximum.

Tandis que la durée totale se trouve surtout influencée par les éléments les plus lents contenus dans la matière homogène, éléments qui ne constituent en général qu'une fraction infime de la charge, le $\frac{dp}{dt}$ maximum caractérise l'émission correspondant aux $\frac{8}{10}$ ou $\frac{9}{10}$ de cette charge, et son inverse correspond à la durée de combustion d'un grain homogène fictif capable de fournir une émission très voisine de l'émission réelle, sauf dans ses parties extrêmes. C'est cet élément qui nous paraît devoir être pris comme mesure de la valeur τ au point de vue balistique.

Il fournit en tous cas, avec une grande simplicité, un classement qualitatif des poudres au point de vue de la vivacité.

Le tableau suivant renferme les valeurs des $\frac{dp}{dt}$ M obtenues par la combustion en vase clos des poudres noires ou brunes, sous la pression maximum de 2500^{kg} (*Table de Gâvre statique*), pression voisine de celle qui correspond aux conditions balistiques usuelles. Les valeurs de τ qu'on en déduit sont rapprochées de celles que M. Sarrau a déduites du tir de ces mêmes poudres dans les conditions normales d'emploi.

TABLEAU LIV.

NATURE des poudres.	ARME dans laquelle la poudre est utilisée.	COMBUSTION sous la pression maxima de 2500^{kg} $\frac{dp}{dt}$ maximum. $\frac{T}{}$	VALEURS DE $\frac{\tau}{\lambda}$ DÉDUITES DES	
			formules de M. Sarrau.	valeurs des $\frac{dp}{dt}$ maximum.
F_3	Fusil modèle 1874	2500	»	»
C_1	Canon de 90^{mm}	1100	0,360	0,360
13/16 Wetteren	Canon de 24^{cm}	725	0,763	0,546
SP_3	Canon de 24^{cm}	638	0,763	0,639
26/34	Canon de 24^{cm}	776	1,000	0,510
PB_3	Canon de 14^{cm} et 16^{cm}	427	0,880	0,927
PB_1	Canons de 27^{cm} à 42^{cm}	169	2,070	2,323

Ces poudres, qui présentent tous les degrés de vivacité utilisés dans les armes, depuis les plus vives jusqu'aux plus lentes, se trouvent donc correctement classées, au moins qualitativement, par l'épreuve en vase clos, à l'exception d'une seule, la poudre 26/34.

Cette divergence paraît pouvoir être expliquée par la loi spéciale suivant laquelle l'accroissement de la pression modifie l'émission de cette poudre, ainsi que nous allons le voir.

Loi de variation des vitesses élémentaires avec la pression. — Nous avons vu comment l'étude de la combustion des matières *compactes* permettait d'atteindre les vitesses élémentaires de combustion et, par suite, la loi suivant laquelle ces vitesses dépendent de la pression.

Mais, pour les matières employées à la fabrication des poudres

usuelles noires ou brunes, la méthode cesse d'être applicable. En effet, les dimensions des noyaux élémentaires suivant lesquels ces poudres se résolvent ne sont pas connues, et, ce qui est plus grave encore, les matières ne sont pas homogènes; le tracé se trouve, par suite, perturbé par l'émission excessive au début des éléments les plus vifs et l'émission trop faible à la fin des éléments les plus lents. Lorsqu'on cherche, par exemple, à appliquer la méthode, dans les conditions en apparence les plus favorables, aux grains élémentaires denses et réguliers servant à la fabrication des poudres prismatiques brunes, on constate que la loi d'émission du grain sphérique moyen conduit à des vitesses élémentaires de combustion d'abord régulièrement croissantes, puis franchement décroissantes, et ce résultat inadmissible s'explique facilement par l'espèce de triage, que la combustion opère, des grains les plus petits et les moins denses. Aussi, les essais nombreux entrepris dans cette voie ne nous ont conduit à aucun résultat satisfaisant et ne seront pas rapportés dans cette étude.

Mais il est pourtant possible de reconnaître, en se fondant sur les considérations développées plus haut, si les diverses poudres comparées présentent la même loi de variation des vitesses élémentaires avec la pression et le sens des divergences.

L'expression de la durée totale de combustion en vase clos de matières géométriquement semblables, sous la pression P,

$$T_p = \frac{k}{q} \int_0^P \frac{F(p)\,dp}{F_1(p)},$$

montre, en effet, que les rapports des valeurs correspondant aux diverses poudres doivent être indépendants de la pression choisie, si la loi de variation $F_1(p)$ des vitesses élémentaires avec la pression est la même pour toutes ces poudres.

Le classement de ces poudres au point de vue de la vivacité reste donc le même, quelle que soit la pression finale adoptée. S'il en est autrement, c'est que $F_1(p)$ est variable et, comme la fonction $F(p)$ est commune à toutes les poudres noires, on voit facilement que T_p varie avec p en sens inverse de $F_1(p)$.

Par suite, le $\frac{dp}{dt}M$, dont l'inverse peut être substitué à T_p, varie avec p dans le même sens que $F_1(p)$.

Nous avons déterminé cette loi de variation des $\frac{dp}{dt}\mathbf{M}$ avec la pression pour les diverses poudres mentionnées dans le tableau ci-dessus et, à titre de comparaison, pour des matières compactes dont la loi de variation des vitesses élémentaires de combustion est approximativement connue.

Le tableau suivant donne, pour chacune d'entre elles, deux valeurs de cet élément déterminées pour des pressions voisines, en général, de celles qui correspondent aux densités de chargement 0,3 et 0,6, ainsi que l'exposant de la puissance de la pression qui permet de passer de l'une des valeurs à l'autre et qui constitue ce qu'on peut appeler le *module de progressivité*.

Les pressions indiquées dans ce tableau, de même que toutes celles qui figurent dans ce travail, sont déduites des écrasements des cylindres crushers par la table de tarage statique de Gâvre : cette table fournit, ainsi que nous l'avons établi dans une étude précédente (même recueil, t. V), sinon des mesures absolues, du moins des valeurs proportionnelles aux pressions réellement développées.

TABLEAU LV.

NATURE DE LA POUDRE.	DENSITÉ.	NOMBRE des expériences.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSION maxima correspondante.	NOMBRE des expériences.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSION maxima correspondante.	PUISSANCE de la pression ou module de progressivité.
			T	kg		T	kg	
F_3		2	645	1177	2	2737	2621	1,74
C_1	1,745	compensation de 17 expériences	310	1200	compensation de 17 expériences	1700	3200	1,73
SP_2	1,810	3	207	1288	3	963	3185	1,70
13/16 Wetteren	1,765	2	162	1101	2	809	2765	1,74
26/34	1,800	3	265,9	1568	3	1103	2921	2,29
PB_3	1,850	2	145	1223	3	628,5	3223	1,51
PB_2	1,865	2	110	1220	2	477	3213	1,50
PB_1	1,870	2	74,5	1268	3	241	3343	1,29
Grains élémentaires de poudre PB_1	1,840	1	68,7	693	2	608,2	2855	1,50
Cylindres compacts $\begin{cases} d = 16^{mm} \\ h = 16^{mm} \end{cases}$ de matière de poudre brune...	1,900	2	12,41	1008	2	44,92	2810	1,25
Cylindres compacts $\begin{cases} d = 16^{mm} \\ h = 16^{mm} \end{cases}$ de matière de poudre noire...	1,900	2	19,15	1077	2	72,88	2933	1,33

Pour les poudres de l'ancien type, dont la densité ne dépasse guère 1,800, l'exposant de la pression reste voisin de 1,70. Seule, la poudre 26/34, qui peut être prise comme type des poudres à gros grains de ce mode de fabrication, fournit l'exposant considérable de 2,29. Par suite, le classement de cette poudre par la valeur du $\frac{dp}{dt}M$ cesse d'être correct : il n'est plus indépendant de la pression choisie et l'on prévoit que la poudre sera comparativement d'autant plus lente que les essais s'effectueront sous des pressions plus faibles.

Cette particularité explique également la divergence de la valeur de τ, déduite de l'essai en vase clos, et de celle que l'on obtient empiriquement à l'aide des données du tir, par l'emploi de formules où l'influence de la pression sur la vitesse de combustion est supposée la même pour toutes les poudres.

Pour les poudres prismatiques à forte densité, de même que pour les grains élémentaires composants, l'exposant de la pression s'abaisse à 1,50. C'est sans doute à cette variation de l'exposant que tient la difficulté de représenter avec la même exactitude, par les formules balistiques, les résultats fournis par le tir des poudres noires et des poudres brunes prismatiques.

Enfin, pour les matières compactes noires ou brunes à la densité maxima, l'exposant tombe à 1,33 et 1,25, tandis que nous avons trouvé pour l'exposant relatif aux vitesses de combustion élémentaires des mêmes matières, des valeurs de l'ordre de 0,25 à 0,33.

Il convient de rappeler, en effet, que la puissance de la pression dont l'exposant figure dans la dernière colonne du tableau précédent n'est point la fonction $F_1(p)$ d'où dépend la *vitesse élémentaire* de combustion, mais une fonction complexe

$$\int_0^p \frac{F(p)\,dp}{F_1(p)}.$$

Dans ces expériences, la variation de la pression étant due à un accroissement de la charge, on voit que, même si $F_1(p)$ restait constant, le $\frac{dp}{dt}M$ varierait comme la charge ou la densité de chargement, c'est-à-dire un peu moins vite que la pression. On doit donc prévoir que c'est l'excès sur l'unité des exposants ci-

dessus qui représente la part de la variation de l'émission maxima réellement attribuable à l'accroissement de pression. En fait, pour les matières compactes, cet excès est presque identique à l'exposant de la vitesse élémentaire obtenu directement.

L'influence de l'exposant de la pression sur le fonctionnement balistique n'apparaît pas clairement; il semble, toutefois, résulter, de la comparaison des résultats obtenus par l'emploi des poudres noires de l'ancien type et des poudres prismatiques brunes, que l'abaissement de cet exposant est avantageux. Mais il est une autre considération qui conduit à regarder comme préférables, au point de vue balistique les poudres pour lesquelles l'influence de la pression sur la vitesse de combustion est la plus faible.

L'étude de la loi de développement des pressions dans les bouches à feu, au moyen de l'appareil crusher enregistreur, montre, principalement dans l'emploi des poudres lentes et peu inflammables, qu'il y a lieu de compter avec des phénomènes ondulatoires des pressions dans la chambre à poudre. Dans la plupart des cas, ces phénomènes, très intenses dans le début de la combustion, s'amortissent rapidement et sont peu sensibles au moment du maximum de pression. Or, il est évident que la valeur élevée de l'exposant suivant lequel l'émission dépend de la pression tend à accroître l'importance des suppressions qui se propagent d'une extrémité à l'autre de la chambre en les renforçant ou, tout au moins, en s'opposant à leur amortissement.

Les poudres pour lesquelles l'influence de la pression sur la vitesse de combustion est maximum présentent donc, au point de vue des surpressions accidentelles, le minimum de sécurité.

Il est remarquable que la poudre 26/34, pour laquelle nous avons trouvé l'exposant anormal de 2,29, soit précisément celle qui a donné lieu à des accidents graves résultant de surpressions inexpliquées.

Nous reviendrons sur ce point à l'occasion des poudres nitrées.

II. — POUDRES COLLOÏDALES.

Les caractéristiques balistiques de ces poudres peuvent en principe, d'après ce qui a été vu au chapitre précédent, être évaluées directement. Ces matières brûlent, en effet, par surfaces parallèles

et la loi de variation avec la pression des vitesses élémentaires peut être déduite des tracés.

On peut craindre, toutefois, que l'hétérogénéité des poudres usuelles qui résultent toujours, en pratique, du mélange de poudres différant soit par l'épaisseur, soit même par le degré de compacité, ne fausse l'exactitude des caractéristiques déterminées *a priori,* et notamment celles qui concernent la forme du grain. On conçoit, en effet, que, si l'on associe dans une charge deux poudres très aplaties, mais de durée de combustion différente, la loi de l'émission moyenne sera très différente de celle qui correspond à chacune des poudres séparées et que, par suite, l'introduction dans les formules des coefficients relatifs à la forme aplatie conduira à des résultats erronés.

Nous avons donc cherché à appliquer aux poudres colloïdales le mode de classement et de mesure de l'influence de la pression sur les vitesses de combustion auquel nous avons été conduit dans l'étude des poudres du type de la poudre noire.

1° Poudres cubiques colloïdales.

Nous avons vu les raisons qui conduisent à accorder une faible importance pratique à cette forme des poudres colloïdales; mais leur étude au point de vue théorique présente, au contraire, un sérieux intérêt, parce que les résultats que fournit à leur égard la méthode de comparaison des valeurs des $\frac{dp}{dt}\mathrm{M}$ sont directement comparables à ceux que nous avons obtenus par l'application de la même méthode aux poudres noires. Nous avons vu, en effet, que, dans la fonction complexe de la pression

$$\int_0^p \frac{\mathrm{F}(p)\,dp}{\mathrm{F}_1(p)},$$

$\mathrm{F}(p)$ pouvait être regardée comme sensiblement constante, non seulement pour les diverses poudres noires, mais pour les explosifs de toute nature à grains géométriquement semblables, pour lesquels le facteur $\frac{1-\alpha\Delta}{1-\frac{\Delta}{\delta}}$ conservait des valeurs voisines.

Cette condition se trouve sensiblement réalisée pour les poudres colloïdales au coton-poudre pur ou à base de nitroglycérine.

Il en résulte que cette fonction complexe varie de la même façon avec $F_1(p)$ pour les poudres noires et pour les poudres colloïdales cubiques pour lesquelles $F_1(p)$ est connu.

Ces poudres nous fournissent donc, par un moyen détourné, le moyen d'atteindre, pour les poudres noires, la loi de variation des vitesses élémentaires que nous n'avions pu obtenir par l'expérience directe, en raison de l'incertitude de leur mode de désagrégation.

Le tableau suivant renferme les résultats de détermination concernant : 1° une poudre colloïdale au coton-poudre pur, du type de l'échantillon 148 à grains cubiques de $1^{mm},90$ de côté, pour laquelle la fonction $F_1(p)$ a été trouvée de la forme $kP^{\frac{2}{3}}$; 2° une balistite espagnole découpée en grains cubiques de 5^{mm} de côté, pour laquelle la fonction $F_1(p)$ a été trouvée de la forme $kP^{\frac{6}{10}}$.

Nous rapprochons de ces données celles qui concernent les matières cubiques compactes de poudre noire ou brune, pour lesquelles la fonction $F_1(p)$ a pu être déterminée au moins approximativement, ainsi qu'on l'a vu plus haut.

TABLEAU LVI.

NATURE DE LA POUDRE (grains cubiques).	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSION maxima.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSION maxima.	MODULE de progressivité.	EXPOSANT $F_1(p)$.
Poudre colloïdale au coton-poudre pur...	$97,6^{T}$	924^{kg}	$485,8^{T}$	2215^{kg}	1,87	0,66
Balistite cubique.....	84,3	1128	368,6	2492	1,86	0,60
Matière compacte de poudre noire.....	»	»	»	»	1,33	0,33
Matière compacte de poudre brune.....	»	»	»	»	1,25	0,25

Les exposants de l'avant-dernière colonne étant directement comparables aux exposants 1,70 et 1,50, que nous avons trouvés par la même méthode pour les poudres usuelles noires et brunes,

on est conduit à attribuer, par interpolation à l'exposant de la vitesse élémentaire de combustion, la valeur o, 55 pour les poudres noires usuelles et la valeur o, 45 environ pour les poudres brunes.

L'expérience confirme donc, d'une façon remarquable, la valeur $\frac{1}{2}$ admise par M. Sarrau dans ses formules balistiques pour l'exposant de la puissance de la pression qui régit la loi de variation des vitesses élémentaires de combustion des poudres noires usuelles.

2° Poudres usuelles colloïdales.

Ces poudres se présentent généralement sous forme de filaments ou de bandes dans lesquelles une dimension est très grande par rapport aux deux autres : en raison de cette propriété, les cordites à section circulaire ou les balistites à section carrée peuvent être considérées comme satisfaisant approximativement à la condition de similitude géométrique indispensable pour un classement correct de ces poudres, au point de vue de la vivacité, par la comparaison des $\frac{dp}{dt}$ M sous une même pression maxima.

Bien entendu, ces $\frac{dp}{dt}$ M ne sont comparables que pour ces poudres colloïdales de formes voisines et pour lesquelles la fonction $F_1(p)$ est sensiblement la même : elles ne peuvent notamment être correctement comparées à celles que nous avons obtenues pour les poudres noires.

Mais on conçoit qu'il suffise de déterminer par quelques expériences de laboratoire les valeurs des $\frac{dp}{dt}$ M, correspondant à un certain nombre de types de poudres de formes usuelles et de propriétés balistiques connues, pour qu'il soit facile de repérer un échantillon quelconque au milieu de ces types connus et de prévoir, par l'emploi des formules balistiques, les résultats qu'il est susceptible de fournir dans une arme quelconque.

Ainsi se trouve ramenée à un essai de laboratoire, portant sur des quantités restreintes, la prévision des effets balistiques d'un explosif.

3° Explosifs divers.

La méthode de comparaison que nous venons d'appliquer aux

poudres balistiques anciennes ou nouvelles peut être étendue à la plupart des explosifs. Il suffit que ces matières puissent être mises sous forme d'éléments compacts brûlant par surfaces parallèles et de forme sphérique ou cubique : on reconnaît, en général, que la fonction $F(p)$, qui ne dépend que de la forme et de la valeur du facteur $\frac{1-\alpha\Delta}{1-\frac{\Delta}{\delta}}$, est sensiblement la même pour tous ces corps et que, par suite, les modules de progressivité, qui nous sont donnés par la loi de variation des $\frac{dp}{dt}$ M avec la pression, sont comparables entre eux.

Le tableau suivant renferme les résultats de déterminations en tout semblables à celles qui ont été rapportées à l'occasion des explosifs balistiques usuels.

TABLEAU LVII.

NATURE de l'explosif.	NOMBRE des expériences.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSIONS maxima correspondantes.	NOMBRE des expériences.	$\frac{dp}{dt}$ M.	PRESSIONS maxima correspondantes.	MODULE de progressivité.
		T	kg		T	kg	
Trinitronaphtaline fondue en grains cubiques de 5mm.	1	26,3	1260	1	202,6	3010	2,34
Trinitronaphtaline fondue en grains sphériques de 2mm environ.....	1	156,0	1522	1	932,3	2995	2,64
Acide picrique. Blocs cubiques. Compression : 3600kg par centim. carré.	1	14,4	911	1	372,2	3050	2,69
Poudre picrique fondue, grains cubiques de 5mm...	1	32,6	938	1	339	2167	2,82
Explosif Favier { Binitronaphtaline..... 12 ; Azotate d'ammoniaque.. 88 }	2	53,4	1007	1	569,1	2734	3,25
Amidon-poudre comprimé. Densité 1,40. Grains cubiques.....	1	159,0	972	1	267,3	2310	3,26
Diphénylamine hexanitrée, grains cubiques.....	1	37,6	1080	1	208,5	2380	2,17

Tous ces explosifs peuvent être amenés, par des artifices de fabrication, à un degré de lenteur quelconque, et leur utilisation balistique ne rencontre, à ce point de vue, aucune difficulté; mais ce qui les distingue des explosifs balistiques proprement dits étudiés plus haut, c'est la valeur excessive du module de progressivité correspondant à une loi de variation très rapide de la vitesse élémentaire de combustion avec la pression.

Quelques-uns de ces explosifs ont été soumis à des essais balistiques et l'on a pu constater leur aptitude dangereuse à fournir des surpressions accidentelles résultant des phénomènes ondulatoires qui accompagnent toujours la combustion de matières difficilement inflammables.

Il paraît certain que ces phénomènes peuvent être atténués, sinon supprimés par des dispositifs d'allumage convenablement étudiés, mais ils seront toujours plus fréquents avec les poudres dont la vitesse élémentaire de combustion est fortement influencée par la pression. La progressivité modérée des poudres colloïdales, bien que supérieure à celle des poudres noires, semble donc devoir être signalée comme une propriété exceptionnelle parmi les explosifs de puissance similaire, propriété présentant une grande importance au point de vue de la sécurité du fonctionnement dans les armes.

Si l'on fait même abstraction des anomalies de fonctionnement provenant de phénomènes ondulatoires, les résultats obtenus jusqu'à ce jour tendent à démontrer que, pour des explosifs de même force, plus le module de progressivité est faible, plus les résultats balistiques obtenus sont avantageux; de telle sorte que les progrès à réaliser dans l'emploi des explosifs puissants paraissent liés à l'abaissement du module de progressivité qui, pour des poudres colloïdales, est encore supérieur à celui des poudres noires et surtout des poudres brunes.

Paris, 1er octobre 1893.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TOME VI.

DEUXIÈME PARTIE.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

FRANCE[1].

N° 149.

EXPLOSION SURVENUE, LE 1er JUILLET 1891, DANS L'USINE A MEULES, N° 3, DE LA POUDRERIE DE SAINT-PONCE.

(Lettre collective n° 10.)

Paris, le 2 septembre 1891.

Messieurs, une explosion s'est produite à la poudrerie nationale de Saint-Ponce, le 1er juillet 1891, vers 4 heures du soir, dans l'usine à meules n° 3, dix minutes après la mise en marche, sur une charge de 25kg de poussiers de poudre de chasse forte.

L'explosion n'a pas fait de victime et les dégâts matériels ont été peu importants; les murs et les charpentes du bâtiment n'ont éprouvé aucun dommage, mais la couverture et la devanture ont été enlevées et projetées à quelques mètres; les glaces fermant, à l'intérieur, les œillards des lampes électriques, ont été brisées et les volets extérieurs de ces œillards ont été arrachés.

Je vous adresse ci-joint le rapport de M. l'inspecteur général qui a fait l'enquête réglementaire.

Il ressort de ce document que la cause de l'explosion n'a pas été déterminée d'une façon précise, et que trois hypothèses ont été émises, savoir :

Une accumulation de matières en un point de la piste;

Un frottement énergique ou un choc du grattoir sur une meule accidentellement encroûtée;

(1) Voir 1 *3, 2 *3, 3 *3, 4 *3 et 5 *3 les nos 1 à 148.

Enfin la chute d'une meule sur la piste à nu, que l'appareil de suspension n'aurait pu empêcher.

Une accumulation de matières ne paraît point s'être produite; lorsqu'elle existe au moment d'une explosion, elle détermine sur la piste ou sur son rebord, sur les moises, les repoussoirs ou leurs tiges, des effets de rupture, dislocation ou torsion qui n'ont point été constatés dans l'usine n° 3 de Saint-Ponce.

Un frottement énergique ou un choc du grattoir, déterminé par l'adhérence d'une galette dure à la surface de la meule, paraît fort peu probable; l'explosion s'est produite dix minutes seulement après la mise en marche, et une durée aussi faible de trituration ne donne pas d'ordinaire assez de dureté aux matières pour qu'elles résistent à l'action normale du grattoir : on n'a constaté d'ailleurs, après l'explosion, de trace de frottement qu'entre la face interne d'une meule et la joue d'un grattoir, sans qu'on ait trouvé sur le banc même la marque du broutement qui décèle le choc contre la surface de la meule. Quoi qu'il en soit, les précautions à prendre pour assurer le fonctionnement régulier du grattoir ont été prescrites par la lettre collective n° 6, du 13 juillet dernier, relative à l'explosion de l'usine n° 15 de la poudrerie d'Esquerdes, et je me borne à les rappeler.

Enfin, la chute sur la piste à nu d'une meule préalablement soulevée par son passage sur un amas accidentel de matière est une dernière explication qui n'a rien d'inconciliable avec le fonctionnement régulier de l'appareil de suspension. Pour apprécier la distance de la piste à laquelle s'arrête une meule quand, après avoir été soulevée par la matière, elle vient, dans ses mouvements verticaux, à porter brusquement sur l'étrier, il ne faut pas seulement considérer la hauteur normale de réglage : il faut aussi tenir compte de la flexion de la potence et de l'allongement des tiges de la suspension, du jeu de l'arbre vertical portant la potence, dans le collier et la crapaudine qui le guident, des irrégularités de la piste, du déplacement et de la flexion des charpentes, en bois ou en fer, supportant les mécanismes et enfin de l'épaisseur de la matière travaillée par les meules. Parmi ces causes multiples d'accroissement de l'amplitude du mouvement de chute des meules, les deux dernières ont pu exercer une influence exceptionnelle sur les meules de l'usine n° 3 de Saint-Ponce : la grande

portée des charpentes, conséquence de la longueur de l'usine (8^{m}), devait en faciliter la flexion; l'épaisseur de la matière, conséquence du poids de la charge (25^{kg} plus les culots, ou 30^{kg} environ), devait augmenter la force du choc de la meule tombant dans son étrier et, par suite, accroître la hauteur de la descente. L'explosion du 1er juillet peut donc avoir été causée par le choc sur la piste d'une meule fortement soulevée, dont l'appareil de suspension, si bien réglé qu'il fût, s'est trouvé, par suite de circonstances particulières à l'usine, impuissant à arrêter la descente.

Ces considérations me conduisent à prescrire, dès à présent et sans attendre les résultats des expériences demandées par M. l'inspecteur général dans son rapport aux directeurs des établissements des poudres et salpêtres, d'assurer l'invariabilité et la solidité aussi complètes que possible des charpentes de support des mécanismes des meules et d'appliquer sans délai les dispositions de la lettre collective n° 6, du 13 juillet 1891 (1), relatives à la limitation à 20^{kg} du poids de la charge des usines à meules.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

RAPPORT

sur l'explosion survenue, le 1er juillet 1891, à l'usine à meules n° 3 de la poudrerie nationale de Saint-Ponce.

Circonstances de l'explosion. — L'usine à meules n° 3 a fait explosion le 1er juillet, à 3^{h}55^{m} du soir, sur 25^{kg} de poussier de chasse forte, chargé à 3^{h}45^{m}. Après avoir mis en train à petite vitesse, le brigadier auxiliaire Goulet, qui conduisait l'usine, y était entré pour en vérifier le bon fonctionnement, puis il était retourné à la vanne pour porter la vitesse des meules à 10 tours. Cette opération exécutée, il revenait vers l'intérieur de l'usine et s'était, dans le trajet, un instant arrêté, en *a*, sur la passerelle à regarder la rivière quand l'explosion s'est produite. Défilé par l'angle *b* du mur et par la guérite *c* qui y est adossée, il n'a reçu aucune atteinte et ne

(1) Voir n° 146.

s'est même pas aperçu de la chute des débris du châssis vitré du coursier, qui étaient projetés jusqu'à lui par le vent des œillards. Il s'est empressé de courir vers la vanne pour arrêter les meules, qui ont encore fait quelques tours en broyant divers objets tombés sur la piste.

La pompe, immédiatement amenée, n'a pas eu à fonctionner, en l'absence de tout commencement d'incendie, et le personnel a pu presque aussitôt reprendre son travail, l'explosion n'ayant produit aucun dégât dans les autres bâtiments de l'exploitation.

Effets de l'explosion. — La détonation, qui a été perçue non seulement du village voisin, où elle a naturellement causé une vive émotion, mais encore de Mézières et de Charleville, a produit l'effet d'un fort coup de canon.

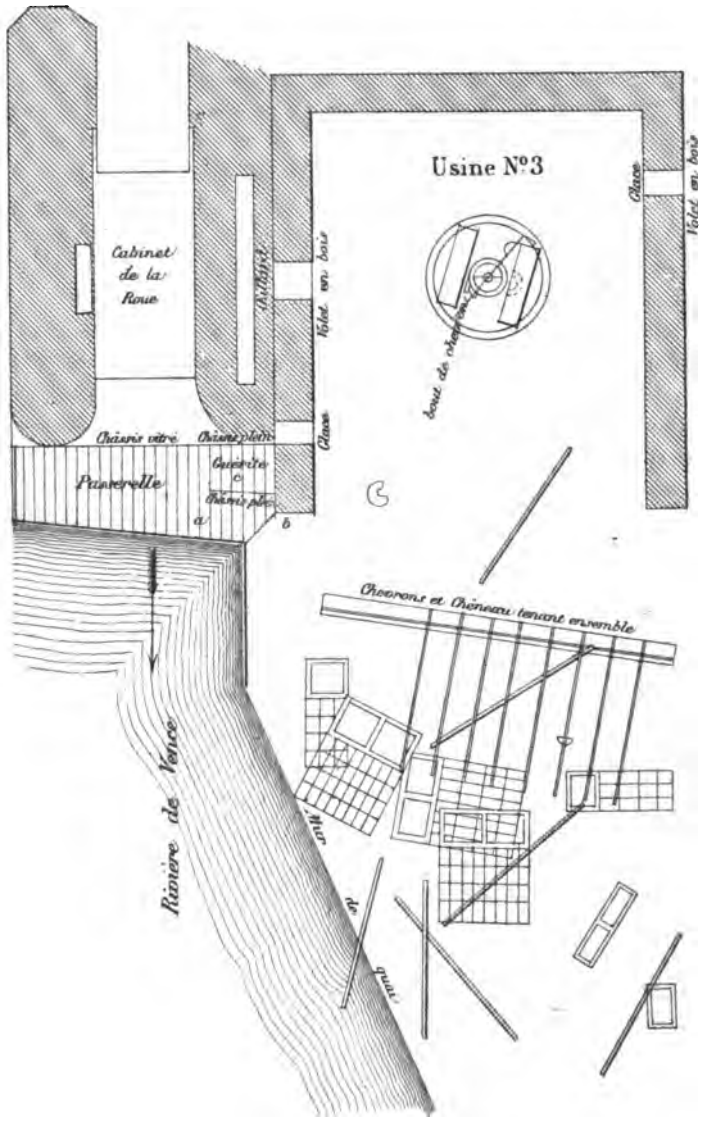
Quant aux effets matériels de l'explosion, ils sont exactement ceux que vise le mode de construction de nos usines à meules et peuvent être indiqués comme la constatation manifeste de la perfection de cette partie des installations du service des poudres de France : la toiture et la devanture, très légères (voir le plan ci-joint), ont été pour ainsi dire déposées sur l'herbe, dans un espace d'une dizaine de mètres au plus, en avant de l'usine; les pannes sont en place et les murs intacts, sauf un morceau d'enduit tombé du mur de fond et trois œillards enfoncés dans les murs latéraux, et encore étaient-ils, celui-là sans doute *cloqué* par l'humidité, et ceux-ci très mal établis, la glace de 9^{mm} d'épaisseur, qui ferme à l'intérieur les œillards de la lumière électrique, ne pouvant, avec sa superficie de $0^{m^2},25$, résister à la pression des gaz développés, et les panneaux en bois extérieurs n'étant pour ainsi dire pas maintenus en place.

Dans tous les autres locaux de la poudrerie, si l'on excepte le châssis vitré de la roue hydraulique contiguë, qui a subi l'effet du souffle de l'explosion par les deux œillards défoncés, il n'y a pas même eu un carreau de cassé.

Quant aux mécanismes, sauf quelques accessoires légers, tels que tube et réservoir d'arrosage, bassins à huile et couvercle de la crapaudine centrale, ils sont absolument intacts. Les moises horizontales ont seulement été soulevées d'environ 1^{cm}, sans déformation de l'ensemble de ces pièces; les grattoirs, qui ont naturellement participé à ce mouvement, continuent à fonctionner sans frottement; l'appareil de suspension maintient toujours les meules à la distance réglementaire de la piste, et les repoussoirs sont eux-mêmes restés en place et intacts; si bien que l'usine pourrait être remise immédiatement en activité sur la poudre, après un simple nettoyage.

En somme, les effets de l'explosion ont été exceptionnellement faibles, ce qui, étant donnés le poids et la nature de la charge de poudre, tire son

explication des circonstances favorables dans lesquelles l'accident s'est produit : humidité de la matière (de 7 à 8 pour 100), dimensions excep-



tionnelles de l'usine (ancienne usine à pilons, de 8^{m} sur 7^{m},15) et légèreté extrême des parties faibles : toiture et devanture.

Causes de l'explosion. — La visite minutieuse des mécanismes a fait, ainsi qu'il a été dit, constater que toutes les pièces essentielles sont intactes; tous les écrous et goupilles en fer sont en place, la plupart encore retenus par leurs lanières de sûreté. Aucune des parties frottantes, touchées par le chef-poudrier immédiatement après l'explosion, ne présentait la moindre trace d'échauffement. Tous les ustensiles de service sont à leur place et la moitié du cache-crapaudine, retrouvée sur la piste avec de fortes traces d'écrasement par les meules, était trop bien fixée en place pour que sa chute dans le bassin, de même que celle du bout de chevron qui se voit également sur la piste, ait précédé l'explosion. Enfin, le mécanisme, resté lui-même en état de fonctionnement, n'a subi aucune détérioration susceptible d'avoir déterminé l'accident. Il n'y a donc pas lieu d'attribuer celui-ci à un dérangement de mécanismes.

Les 25^{kg} de poussier de chasse formant la charge avaient été arrosés de 1$^{lit}\frac{1}{2}$ d'eau (1) dans le dépôt et soigneusement touillés par le servant, lequel, après en avoir fait le transport à l'usine, avait aidé le conducteur dans l'opération du chargement, et tous deux, également soigneux, déclarent que cette opération avait été faite avec les précautions ordinaires et l'état normal d'humidité. Enfin, le tamisage, fait aussitôt après l'accident, des autres charges préparées n'y a révélé la présence d'aucun corps étranger. L'état de la matière et son arrangement sur la piste ne sauraient donc être mis en cause.

Les meules, bien qu'assez fortement piquées, ne paraissent pas l'être d'une façon dangereuse, et la constatation sur le mur de fond de quelques traces noires de projections de matières, correspondant à la position que les meules devaient occuper au moment de l'explosion (2), ne permet guère, surtout en l'absence de tout effet local sur la piste, les grattoirs et les repoussoirs, de conclure à une forte accumulation de matière en un point de cette piste. C'est pourtant encore là la seule hypothèse admissible, avec celle de l'adhérence à la surface de la meule d'une galette qui aurait produit un frottement énergique ou un choc d'un des grattoirs. Bien que la charge n'eût pas plus de 10^{m} à 15^{m} de trituration, la matière, constituée en effet par des poussiers fortement triturés, pouvait posséder assez de corps pour former une galette dure, susceptible d'être entraînée par le repoussoir extérieur et de former devant une des meules un obstacle, que celle-ci aura franchi pour retomber de l'autre côté. Or, le directeur de la poudrerie, qui donne cette explication, suppose que, dans cette chute des

(1) Les poussiers sont arrosés de 1^{kg} à 1^{kg},50, suivant l'état de l'atmosphère; ce qui, ajouté à l'humidité préexistante, porte la proportion à 7 ou 8 pour 100.

(2) Cette position est celle que les meules occupent au dessin.

meules, il doit se produire, dans l'ensemble de la potence et des tiges de suspension, une flexion suffisante pour amener le contact des meules et du bassin, et même le choc des premières sur le second.

De ces deux actions dangereuses, celle des grattoirs, souvent signalée dans des explosions antérieures, nous semble toujours la plus probable, et le seul remède à y opposer est celui que nous avons déjà préconisé, de la suppression des grattoirs; mais nous pouvons d'autant moins manquer de retenir la seconde que, si elle est réelle, elle doit enlever son efficacité à l'appareil de suspension, qui avait inspiré une confiance presque absolue.

Quand une question de cette nature est soulevée, elle doit être tranchée, et celle-ci peut, à notre avis, l'être par une expérience qui déterminerait la distance à laquelle restent de la piste les meules suspendues retombant de la hauteur maximum à laquelle elles peuvent être soulevées en travail normal. Or, il nous semble appartenir à la commission de fabrication des poudres d'établir le programme de cette expérience, d'en suivre l'exécution et de déduire les conséquences des résultats obtenus. Nous avons donc l'honneur de proposer de lui renvoyer cette étude.

Pertes et responsabilités. — Les pertes sont celles qui sont constatées en pareille circonstance; elles consistent :

	fr
Matières (1 charge)	15,21
Bâtiments	1400,00
Total	1415,21

Quant aux responsabilités, il résulte, tant de l'exposé ci-dessus que des autres constatations de l'enquête, que l'explosion du 1er juillet ne provient ni de désordre, ni de négligence, ni de relâchement dans le service, ni de toute autre cause que la surveillance aurait pu prévenir. C'est un accident de fabrication purement fortuit, qui n'engage en rien la responsabilité du personnel de l'établissement.

Saint-Ponce, le 1er juillet 1891.

L'inspecteur général
des poudres et salpêtres,

G. MAUROUARD.

N° 150 (1).

DÉCRET DU 25 NOVEMBRE 1891,

qui fixe le prix de vente, en Algérie, des cartouches de poudre de mine comprimée.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu les ordonnances du 14 février 1835, 22 juin 1841 et 4 septembre 1844;
Vu le décret du 21 février 1851;
Vu le décret du 12 juin 1890;
Sur les rapports des ministres des finances et de la guerre;

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Les cartouches de poudre de mine comprimée seront vendues en Algérie au prix de la poudre de mine qui les compose, majoré de 0fr, 25 par kilogramme.

Ces prix sont fixés comme suit :

DÉSIGNATION.		ENTREPÔTS.	DÉBITS.
		fr	fr
Cartouches de poudre de mine comprimée	lente.....	1,25	1,50
	ordinaire.....	1,75	2,00
	forte.....	2,10	2,35

ART. 2. — Les ministres des finances et de la guerre sont chargés du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 25 novembre 1891.

CARNOT.

Par le président de la République,

Le ministre de la guerre,
C. DE FREYCINET.

Le ministre des finances,
ROUVIER.

(1) Voir aussi n° 153.

N° 151.

PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX MÉCANISMES OU A LA CHARGE DES USINES A MEULES.

(Lettre collective n° 11.)

Paris, le 16 décembre 1891.

Messieurs, les prescriptions de la lettre collective n° 6 en date du 13 juillet 1891 (1), relatives au renouvellement quinquennal des boulons des mécanismes de meules et au retour à la charge uniforme de 20^{kg} de poudre pour les triturations sous les meules, ont donné lieu, de la part des chefs d'établissements, à des observations qui m'ont paru mériter un sérieux examen, et j'ai chargé la Commission de fabrication des poudres d'examiner à nouveau ces diverses questions.

Je vous adresse ci-joint le rapport établi par cette commission, le 17 novembre dernier, et vous informe que j'ai approuvé les conclusions de ce rapport.

En conséquence, au lieu de procéder au renouvellement périodique des boulons ou autres pièces analogues des mécanismes de meules, les directeurs devront remplacer par des pièces en acier celles des pièces en service qui seraient sujettes à se rompre ou dans lesquelles un examen attentif aurait fait reconnaître un défaut de résistance et, au besoin, proposer l'augmentation des dimensions des pièces qui, bien que faites en acier, paraîtraient trop faibles.

La substitution de l'acier au fer paraissant devoir suffire pour donner une résistance suffisante aux tiges supportant la queue des grattoirs, les dimensions et formes actuelles de ces tiges seront provisoirement conservées.

La charge des meules demeure fixée à 20^{kg} pour toutes les poudres noires ou brunes.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

---

(1) Voir n° 147.

COMMISSION DE FABRICATION DES POUDRES.

RAPPORT

relatif aux mesures prescrites par la lettre collective du 13 juillet 1891, pour les mécanismes des meules.

A la suite de l'explosion survenue le 22 octobre 1890, dans l'usine à meules n° 15 de la poudrerie d'Esquerdes, M. le ministre de la guerre a, par lettre collective du 13 juillet 1891, rappelé l'ancienne prescription de remplacer tous les cinq ans les boulons des mécanismes des meules, étendu cette prescription aux tiges qui supportent les queues des grattoirs et ordonné l'augmentation des dimensions de cette tige ainsi que le retour, pour les triturations sous les meules, à la charge uniforme de 20^{kg}.

Ces mesures, prises conformément aux conclusions d'un rapport de M. l'inspecteur général Maurouard en date du 2 décembre 1890, ont donné lieu, de la part de plusieurs directeurs de poudreries, à des observations qui ont paru mériter un sérieux examen et que M. le ministre a, en conséquence, communiquées à la Commission de fabrication, en lui demandant d'étudier les diverses questions qu'elles soulevaient.

Ces observations sont de deux ordres différents : les unes, faites par M. le directeur de la poudrerie de Saint-Ponce, sont relatives au remplacement, tous les cinq ans, de tous les boulons des mécanismes des meules; les autres concernent la réduction à 20^{kg} de toutes les charges, y compris celles des poudres de mine.

La mesure concernant le remplacement périodique des boulons des mécanismes de meules avait été prise, en 1859 (1), parce qu'on s'était imaginé que le fer, soumis à l'influence de vibrations répétées, subissait une modification moléculaire qui en rendait la texture cristalline et diminuait notablement sa résistance à la rupture.

M. le directeur de Saint-Ponce, au sujet de cette opinion, appelle l'attention du ministre sur le passage suivant d'un article publié dans le *Génie civil,* à la suite de la catastrophe de Mönchenstein :

« C'est tout à fait une erreur de croire qu'un pont moyennement bien construit et entretenu se fatigue par l'usage, que la matière s'en modifie, que le fer subit une sorte de cristallisation. A la seule condition de ne pas

---

(1) Circulaire n° 48 du 14 avril 1859.

dépasser la limite d'élasticité, on peut indéfiniment soumettre le fer à telles vibrations que l'on voudra, sans modifier sa résistance. Il en est tout autrement quand la limite d'élasticité est dépassée, et le même effet, très inférieur à celui qui produit la rupture immédiate, finira, au bout d'un temps plus ou moins long, par amener cette rupture. Ces faits ont été expérimentalement établis dans les remarquables travaux de Weyrauch, Wöhler, Tetmayer, etc. Sauf parfois quelques rivets à remplacer quand les têtes sautent et qui se trouvent dans les parties qui vibrent le plus, telles que les longerons sous rails et les contreventements, il n'y a, pour être sûr d'une durée à peu près illimitée d'un pont métallique, qu'à veiller à l'effet de la rouille, et l'on doit bannir toute crainte résultant de la répétition en nombre illimité des mêmes efforts. »

M. le directeur de Saint-Ponce ajoute que, dans le même ordre d'idées, après avoir longtemps attribué à la cristallisation due à la répétition des vibrations les ruptures autrefois fréquentes des essieux de wagons, les Compagnies de chemins de fer ont réussi à réduire le nombre de ces ruptures, dans une énorme proportion, par la seule modification des formes et des dimensions des pièces.

Faisant application de ces considérations aux mécanismes des meules, il en conclut qu'au lieu de procéder périodiquement au changement complet de tous les boulons et autres pièces susceptibles de rupture, il serait préférable de renforcer celles de ces pièces qui paraissent trop faibles et d'employer pour leur confection l'acier, qui présente plus de résistance et d'homogénéité que le fer.

Ces conclusions semblent très fondées, et elles se trouvent encore justifiées par ce fait que les prescriptions relatives au remplacement, tous les cinq ans, des boulons des meules ont pu sans aucun inconvénient être mises complètement en oubli par toutes les poudreries.

Il n'est pas à notre connaissance en effet que, malgré l'augmentation considérable de travail imposée aux meules depuis vingt ans, il y ait eu de fréquentes ruptures de ces boulons et, en tout cas, aucune explosion survenue dans cette période n'a été attribuée à une semblable rupture (1).

---

(1) Pour l'explosion du 22 octobre, M. le directeur de la poudrerie d'Esquerdes a supposé, il est vrai, que la cause de l'accident était la rupture de la tige d'un support de grattoir, résultat d'un choc violent sur le grattoir du culot adhérent aux meules, mais cette hypothèse n'est pas justifiée par les faits observés, lesquels semblent, au contraire, démontrer que cette explosion a la même origine que toutes celles qui se produisent à la mise en train des meules; la rupture de la tige-support, au lieu d'en être la cause, n'en aurait été que l'effet.

On peut relever, depuis 1866, 17 explosions survenues ainsi à la mise en train et constituant la moitié environ de la totalité des accidents de meules; sur ce

En ce qui concerne la réduction à 20^{kg} de toutes les charges des meules, M. le directeur de Saint-Chamas fait observer qu'il n'y a pas un seul exemple d'explosion de meules, avec des matières de poudre de mine, ayant causé des dégâts sérieux, même avec des charges de 25^{kg}, et il propose, en conséquence, de conserver ce chiffre pour toutes les poudres de mine ou de commerce extérieur.

L'observation paraît exacte : les explosions des matières de cette espèce pour lesquelles la durée de trituration est faible, sont toujours moins violentes que celles des poudres de chasse ou de guerre à longues triturations.

Toutefois, il est bien évident que, même avec les poudres de mine, une explosion de 20^{kg} à 23^{kg} sera moins dangereuse qu'une autre de 30^{kg} et, comme dans l'état actuel de nos fabrications il ne semble pas qu'il soit nécessaire de pousser à sa dernière limite la production des meules, il paraît préférable d'appliquer à toutes les poudres une règle unique; les directeurs des établissements peuvent d'ailleurs, en cas de travail urgent, demander l'autorisation d'augmenter exceptionnellement les charges pour les poudres de mine ou de commerce extérieur.

En résumé, la commission est d'avis :

1° Qu'il n'y a pas lieu d'imposer un renouvellement périodique des boulons ou autres pièces analogues des mécanismes des meules; il suffit de prescrire aux directeurs des poudreries d'examiner si quelques-unes de ces pièces sont sujettes à des ruptures répétées et d'appeler l'attention sur la nécessité, dans ce cas, soit de les remplacer par d'autres en acier présentant plus de résistance, si le métal employé n'est pas complètement satisfaisant, soit de faire des propositions pour les renforcer, si leurs dimensions paraissent un peu faibles;

---

nombre, 10 se sont produites sur des matières telles que poudres de mine, poudre MC_{30}, en gros grains insuffisamment concassés, dont la consistance ne permet pas d'attribuer l'inflammation à la dureté des culots et à des chocs contre les grattoirs.

Il faut donc bien admettre qu'à la mise en train des meules il existe une cause particulière d'inflammation autre que celle qui a été indiquée par M. le directeur d'Esquerdes; cette cause paraît être une tendance au glissement des meules, laquelle peut être favorisée par diverses circonstances, telles qu'un mauvais chargement, une mise en marche trop brusque ou une adhérence aux culots; sous l'influence de ce glissement, les matières se trouvent poussées par les meules et s'accumulent pour produire, au moment de l'inflammation, des effets beaucoup plus désastreux que ceux d'une couche uniformément répartie sur la piste; ces effets sont précisément ceux qu'on a constatés dans l'explosion d'Esquerdes.

2° Que la réduction à 20^{kg} des charges des meules doit être maintenue pour toutes les poudres.

Paris, le 17 novembre 1891.

Le rapporteur,
LAMBERT.

Adopté par la Commission de fabrication des poudres, dans sa séance du 17 novembre 1891.

Le président,
G. MAUROUARD.

Le secrétaire intérimaire,
P. VIEILLE.

N° 152.

CONDITIONS DE RÉCEPTION DU COTON-POUDRE FABRIQUÉ POUR LE DÉPARTEMENT DE LA MARINE.

(Lettre collective n° 12.)

Paris, le 24 décembre 1891.

Messieurs, je vous adresse ci-joint un exemplaire de l'instruction du 4 novembre 1891 sur les conditions de réception du coton-poudre fabriqué par le service des poudres et salpêtres pour le département de la marine.

Cette instruction annule et remplace celle du 19 octobre 1882 (1).

Je vous prie de m'accuser réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

---

(1) Voir 2 *87.

INSTRUCTION DU 4 NOVEMBRE 1891

sur les conditions de réception du coton-poudre fabriqué par le service des poudres et salpêtres pour le département de la marine.

ARTICLE PREMIER. — MODE DE LIVRAISON ET DE RÉCEPTION. — Le coton-poudre sera livré au département de la marine par lots numérotés, par année, en suivant à partir de 1 la série naturelle des nombres. Les lots refusés conserveront leurs numéros.

Un lot sera formé, autant que possible, d'environ 1000^{kg} de coton-poudre, mais ne pourra comprendre cependant que des gâteaux ou des charges de la même espèce et de la même commande.

Chaque lot sera soumis à une réception provisoire faite par une commission spéciale formée du directeur et de deux ingénieurs ou agents de la poudrerie, auxquels le ministre de la marine se réserve d'adjoindre, s'il le trouve utile, un officier du service des défenses sous-marines.

Cette réception donnera lieu à l'établissement d'un procès-verbal conforme au modèle ci-joint (annexe n° 3) et adressé au ministre de la marine, qui prononcera la recette ou fera procéder à une contre-épreuve, s'il le juge utile. Une expédition de ce procès-verbal sera remise à l'officier représentant le département de la marine dans la commission.

Les échantillons nécessaires aux contre-épreuves seront, sur la demande du ministre de la marine, remis à son département ou expédiés au service chargé d'effectuer la contre-épreuve.

Les conditions détaillées ci-après sont applicables tant aux épreuves faites à la poudrerie qu'aux contre-épreuves effectuées par les soins du département de la marine ou du service central des poudres et salpêtres.

Les lots présentés en recette ne seront expédiés qu'après avis de leur acceptation par le ministre de la marine.

En cas de désaccord entre les deux départements après épreuve et contre-épreuve, il en sera référé au comité consultatif des poudres et salpêtres.

ART. 2. — NATURE, FORMES ET DIMENSIONS DES GATEAUX. — Le coton-poudre sera fabriqué par les procédés ordinaires du Moulin-Blanc.

Il sera carbonaté par addition de carbonate de chaux dans la pâte.

Il sera comprimé en gâteaux de densité supérieure à 1 et des formes indiquées par le département de la marine.

Les gâteaux porteront, inscrit à la presse, le millésime de leur fabrication.

Le coton-poudre pourra, dans certains cas, être amené, après compres-

sion, aux formes et dimensions demandées, par l'action de la râpe, de la scie et du tour.

Les trous d'amorce et rainures latérales pourront être forés ou obtenus par moulage.

Les dénominations, formes et dimensions des gâteaux actuellement réglementaires, ainsi que les tolérances admises pour ces dimensions, sont indiquées par le tableau annexé au présent document (annexe n° 1).

Si de nouvelles formes ou dimensions sont demandées par le département de la marine, leur adoption fera l'objet d'une entente nouvelle avec le département de la guerre, et l'on déterminera, autant que possible, les nouvelles tolérances d'après les règles générales adoptées pour la fixation de celles qu'indique le tableau, c'est-à-dire en admettant 2,5 pour 100 en plus ou en moins sur les dimensions perpendiculaires au plan de compression, et 1 pour 100 en plus ou en moins sur les dimensions parallèles à ce plan.

ART. 3. — ENCAISSEMENT. — Le coton-poudre sera livré, soit à l'état sec, soit à l'état humide, suivant les prescriptions qui seront faites pour chaque commande.

Il sera emballé soit dans des caisses métalliques fournies par le département de la marine, soit dans des caisses en bois fournies par le service des poudres et salpêtres. Les charges de torpilles automobiles et leurs charges d'amorces seront livrées dans les étuis métalliques mis, ainsi que leurs caisses, à la disposition de la poudrerie, par le département de la marine.

Les caisses en bois seront revêtues intérieurement d'un enduit parfaitement hydrofuge, tel que la glu marine siccative. En outre, si l'expédition doit être faite à un port autre que Brest, les joints devront être recouverts de papier goudronné ou enduits d'une substance hydrofuge.

Elles auront les formes et dimensions et porteront les inscriptions indiquées par l'annexe n° 2.

ART. 4. — NATURE DES ÉPREUVES. — Les épreuves comprendront :

L'examen physique et la vérification des formes extérieures;

La mesure de la densité;

L'épreuve d'humidité;

L'épreuve de solubilité;

L'épreuve d'alcalinité;

L'épreuve de chaleur.

ART. 5. — PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS POUR LES ÉPREUVES. — Le prélèvement des échantillons pour les épreuves se fera, pour chaque lot, de la façon suivante :

On ouvrira au hasard une caisse sur 20, et dans chacune de ces caisses on prélèvera le 1/5 environ des gâteaux.

Tous ces échantillons seront soumis aux mesures pour vérifications des dimensions.

Pour les autres épreuves, on prendra ensuite, parmi les gâteaux ainsi prélevés, un nombre d'échantillons déterminé d'après le poids net approximatif du lot soumis en recette, à raison de 2 échantillons par 500^{kg} ou fraction de 500^{kg}.

La moitié de ces échantillons sera soumise aux épreuves de densité et d'humidité, l'autre moitié aux épreuves de solubilité, d'alcalinité et de chaleur.

Toutefois, pour les charges de torpilles automobiles, les épreuves d'humidité et de densité ne seront effectuées que pour une charge sur 20, et c'est également sur cette charge que seront prélevés, à raison de 1^{kg} par 500^{kg} ou fraction de 500^{kg}, les échantillons destinés aux autres épreuves. Les autres charges seront seulement enlevées des étuis, s'il y a lieu, pour constater leur état et les bonnes conditions de l'arrimage.

Si les échantillons examinés ne satisfont pas aux conditions de formes et de dimensions, les lots dont ils proviennent seront retirés de la livraison, mais pourront être présentés de nouveau en recette après avoir été ramenés aux dimensions.

Il en sera de même pour les lots dont les échantillons ne présenteraient pas la densité voulue; ces échantillons pourront être présentés de nouveau en recette après avoir été soumis à un nouveau pressage.

Si des échantillons ne satisfont pas aux épreuves de solubilité, d'alcalinité et de chaleur, et sauf recours à une contre-épreuve, s'il y a lieu, tous les gâteaux de même espèce, provenant de la même fabrication, seront rebutés.

ART. 6. — EXAMEN PHYSIQUE. — VÉRIFICATION DES FORMES. — Les gâteaux de coton-poudre devront être propres et d'aspect homogène. Ils ne devront pas avoir de tendance à s'ouvrir facilement. Les arêtes seront légèrement adoucies.

Pour les surfaces obtenues par l'action de la râpe, de la scie ou du tour, les irrégularités, bavures et stries, produites par le passage de l'outil, ne seront pas une cause de rebut, si elles n'altèrent pas la forme générale des gâteaux.

La vérification des dimensions sera faite pour les gâteaux à livrer à l'état humide, à une humidité de 25 pour 100 environ du poids sec, et pour ceux à livrer à l'état sec, à une humidité inférieure à 4 pour 100.

On vérifiera les diamètres extérieurs des disques et cylindres en les faisant passer dans des lunettes ayant des dimensions égales aux dimensions

réglementaires augmentées ou diminuées des tolérances; les gâteaux ne devront pas passer dans les petites lunettes et devront passer dans les grandes sous leur propre poids.

Les diamètres intérieurs seront vérifiés à l'aide de mandrins forts et faibles; les derniers devront passer librement, les autres ne devront pas pouvoir pénétrer par leur propre poids.

Les hauteurs de tous les gâteaux et les dimensions extérieures des carreaux et prismes seront vérifiées au moyen de calibres forts et faibles.

Les profondeurs des trous d'amorces seront vérifiées au moyen de jauges.

Pour ce qui concerne les charges de torpilles automobiles et leurs charges d'amorce, les gâteaux devront avoir leur contour extérieur ajusté à la demande des étuis fournis par la marine.

Les calibres, mandrins, etc., seront mis à la disposition de la poudrerie par le département de la marine.

ART. 7. — MESURE DE LA DENSITÉ. — La densité du coton-poudre sera au moins égale à l'unité.

Elle sera obtenue en divisant le poids du solide à l'état sec par son volume mesuré dans le même état. Ce volume sera déterminé par le calcul en mesurant les dimensions convenables.

ART. 8. — ÉPREUVES D'HUMIDITÉ. — Les échantillons seront desséchés à l'étuve à une température inférieure à 60° et pesés de 10 en 10 heures jusqu'à ce que la perte de poids, entre deux pesées consécutives, soit inférieure à 0,5 pour 100 de leur poids. A ce moment, ils seront tous pesés séparément, et le poids obtenu donnera, pour chacun d'eux, le poids à l'état sec qui doit servir à la mesure de la densité et à la détermination du poids net moyen de chaque gâteau ou charge d'après lequel sera établie la quantité de coton-poudre contenue dans le lot examiné.

ART. 9. — ÉPREUVES DE SOLUBILITÉ. — On prélève au centre du gâteau un échantillon de 10^{gr} à 15^{gr} de coton-poudre qu'on lave d'abord de la façon suivante pour entraîner mécaniquement la majeure partie du carbonate :

On place le coton-poudre dans un ballon avec un litre environ d'eau distillée, à la température de 100° centigrades, et l'on fait bouillir ce mélange pendant un quart d'heure, puis on filtre à travers un linge fin et l'on comprime aussi fort que possible avec la main. L'échantillon est ensuite replacé dans le ballon pour y subir un nouveau lavage. On fait ainsi quatre lavages.

Après le dernier lavage, on filtre une dernière fois et l'on comprime, entre plusieurs doubles de papier, dans une presse à vis.

On dessèche alors complètement l'échantillon à l'étuve à eau.

On pèse 3^{gr} de coton-poudre sec que l'on met en digestion dans 100^{gr} d'un mélange de 1 partie en poids d'alcool à 90° Gay-Lussac et de 2 parties d'éther à 65° Baumé, à 15° centigrades. On laisse le coton-poudre dans ce liquide pendant deux heures, en ayant soin d'agiter fréquemment. On verse alors le tout sur un filtre de fine mousseline, et, quand le liquide est écoulé, le coton-poudre enveloppé dans la mousseline est fortement comprimé au moyen d'une presse à vis, entre deux couches de papier filtre.

L'échantillon est ensuite soumis à un second traitement de dissolution, de filtrage et de compression identique au premier; puis le coton-poudre est séché complètement dans une étuve à eau.

La perte de poids donne la quantité de coton-poudre soluble.

Cette quantité ne doit pas être supérieure à 0^{gr},4.

ART. 10. — ÉPREUVES D'ALCALINITÉ. — L'épreuve d'alcalinité comporte l'emploi de liqueurs types acide et alcaline, et d'une liqueur de virage, qui sont préparées de la manière suivante :

1° *Liqueur acide type.* — Un volume de 20^{cc} environ d'acide chlorhydrique marquant 20° à 22° Baumé est étendu d'eau de façon à former un volume de 1 litre; ce mélange constitue la liqueur acide type.

2° *Liqueur alcaline type.* — On dissout 21^{gr},2 de carbonate de soude anhydre (1) dans une petite quantité d'eau, puis, avec le même liquide, on complète le volume à 1 litre exactement; on obtient ainsi la liqueur alcaline type.

3° *Liqueur de virage.* — On dissout 0^{gr},2 de tropéoline dans 100^{cc} d'alcool pur; cette dissolution forme la liqueur de virage : elle passe du jaune au rouge sous l'action des acides.

On opère sur un échantillon de 2^{gr} de coton-poudre provenant du centre du gâteau et séché à l'étuve à eau.

On prélève sur la liqueur acide type un volume de 10^{cc} que l'on verse sur les 2^{gr} de coton-poudre. On laisse la réaction s'opérer pendant quelque temps, puis le liquide est décanté et le coton-poudre lavé, soit par décantation, soit sur un filtre, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne présentent plus de réaction acide, ce dont on est assuré quand elles ne se troublent plus par l'azotate d'argent.

(1) Le carbonate de soude anhydre est pulvérulent et s'obtient en chauffant le carbonate de soude cristallisé et pur à une température légèrement supérieure à 100°.

Ces eaux de lavage sont réunies à la liqueur qui a servi à traiter le coton-poudre. Le volume total ne doit pas dépasser 500^{cc}.

On prend alors de nouveau 10^{cc} de la liqueur acide qu'on étend à peu près au même volume et qui sert de liqueur témoin.

On verse, dans la liqueur témoin et dans la liqueur de traitement du coton-poudre, un même volume de teinture de tropéoline, puis, à l'aide d'une burette graduée en centimètres cubes, on détermine les volumes V et V', exprimés en centimètres cubes, de la solution alcaline type nécessaire pour neutraliser l'acide contenu respectivement dans ces deux liqueurs.

V — V' est le nombre de centimètres cubes de la liqueur alcaline type contenant un poids de carbonate de soude correspondant au poids de carbonate de chaux qui se trouvait dans les 2^{gr} de coton-poudre.

D'après le titre adopté pour la liqueur alcaline, le nombre V — V' exprime en grammes le poids du carbonate de chaux contenu dans 100^{gr} de coton-poudre, c'est-à-dire le taux pour 100 d'alcalinité.

Ce nombre devra toujours se trouver compris entre 2 et 4.

ART. 11. — ÉPREUVE DE CHALEUR. — Cette épreuve a pour but de constater le degré de résistance du coton-poudre à l'altération, sous l'influence de la chaleur.

Appareils nécessaires. — On se sert pour cela d'un vase en cuivre sphérique ou cylindrique d'une contenance de 3^{lit} à 4^{lit}, rempli d'eau jusqu'à 1^{cm} du bord supérieur et disposé au-dessus d'une source de chaleur (1) réglée de façon que la température de l'eau soit constamment maintenue, pendant la durée de l'épreuve, entre 64°,5 et 65°,5 centigrades. Ce vase porte un couvercle libre formé d'une plaque de cuivre percée de 3 trous : dans l'un d'eux, disposé à peu près au centre, passe un thermomètre maintenu par un bouchon, et plongeant de 8^{cm} à 10^{cm} dans l'eau; les deux autres reçoivent les tubes d'épreuve contenant le coton-poudre et soutenus à la hauteur voulue par un système de 3 bouts de fil de cuivre soudés autour de chaque trou sur la face intérieure du couvercle et agissant comme ressorts.

Les tubes d'épreuve en verre ont environ 15^{mm} de diamètre intérieur et 12^{cm} de longueur. Chacun d'eux est fermé par un bouchon traversé par une mince baguette de verre à l'extrémité de laquelle est fixé un crochet en platine destiné à supporter le papier d'épreuve.

---

(1) On emploie généralement comme combustible le gaz ou l'alcool. Il faut vérifier avec soin qu'ils ne dégagent aucun produit susceptible d'agir sur le papier d'épreuve.

Préparation du papier d'épreuve. — Le papier d'épreuve est préparé comme suit : 3^{gr} d'amidon blanc sont additionnés de 250^{gr} d'eau et le mélange est agité et chauffé jusqu'à l'ébullition.

1^{gr} d'iodure de potassium est dissous dans 250^{gr} d'eau.

Ces deux solutions différentes sont bien intimement mélangées.

On plonge dans le mélange ainsi préparé des morceaux ou des feuilles de papier filtre blanc, puis on les fait égoutter et sécher.

Les dimensions usitées pour les morceaux de papier d'épreuve sont à peu près 12^{mm} sur 15^{mm}.

Le papier doit être conservé dans un flacon bien bouché.

Exécution de l'épreuve. — L'échantillon de coton-poudre prélevé au centre du gâteau est séché à l'étuve, à une température d'environ 65° centigrades, puis exposé à l'air pendant environ quinze minutes (1), de façon à absorber une légère humidité.

On en prend une quantité de 1^{gr},3 qu'on introduit dans un tube d'épreuve en la tassant légèrement, puis on ferme le tube avec un bouchon plein.

L'eau étant à une température comprise entre 64°,5 et 65°,5, le tube est engagé dans le trou du couvercle et plongé dans l'eau, de 5^{cm} à 6^{cm}.

On fixe au crochet de la baguette de verre un morceau de papier d'épreuve, de telle sorte qu'il prenne une position verticale quand on l'introduit dans le tube.

On applique à la partie supérieure de ce morceau de papier une goutte d'eau distillée contenant 1/10 de glycérine pure; cette quantité doit suffire à mouiller seulement la moitié du papier.

Le premier bouchon est alors retiré du tube d'épreuve et remplacé par le bouchon portant la baguette, et l'on maintient le papier d'épreuve aussi près que possible du haut du tube, jusqu'à ce que le tube d'épreuve ait subi cinq à six minutes d'immersion. Au bout de ce temps, un anneau de vapeur d'eau se dépose sur le tube d'épreuve un peu au-dessus du couvercle du bain; on doit alors abaisser la baguette de verre jusqu'à ce que la limite inférieure de la partie mouillée du papier soit au niveau du bas de l'anneau humide du tube.

On observe alors le papier attentivement. L'épreuve est terminée quand

(1) Cette durée varie avec l'état hygrométrique de l'atmosphère. On reconnaîtra que le coton-poudre soumis à l'épreuve est dans de bonnes conditions d'humidité quand il se formera sur les parois du tube d'épreuve, et cinq à six minutes au plus après l'immersion dans le bain-marie, une légère buée qui se maintiendra jusqu'à la fin de l'epreuve sans se résoudre en gouttelettes.

une très faible coloration brune fait son apparition sur la ligne de démarcation, entre la partie sèche et la partie mouillée du papier.

L'intervalle de temps entre le moment où l'on plonge dans l'eau à 65° centigrades le tube contenant l'échantillon de coton-poudre, et le moment où se produit la coloration brune du papier, doit être au minimum de dix minutes.

ANNEXE

DÉNOMINATIONS, FORMES, DIMENSIONS ET POIDS MOYEN DES

DÉNOMINATIONS.		FORMES.
Grands carreaux.....	Epais GC 12/12/4 pleins.....	Parallélépipède rectangle plein.
	Minces GC 12/12/2 pleins.	
Carreaux prismatiques..	PR 12/4/2 pleins.....	Parallélépipède rectangle avec canal d'amorce central (2).
	PR 12/4/2 avec canal d'amorce.....	
Cylindres d'amorce. Mod. 1882. CA 54/50 (3)..	Sans cannelure.....	Cylindre droit avec canal d'amorce à grand diamètre.
		Cylindre droit avec canal d'amorce à petit diamètre.
	Avec cannelures latérales se prolongeant suivant un rayon sur l'une de ses bases (4)..	Cylindre droit avec canal d'amorce à grand diamètre.
		Cylindre droit avec canal d'amorce à petit diamètre.
Disques évidés..... ..	A évidement circulaire D.E.C.	Cylindre droit évidé concentriquement.
Secteurs.....	Pour disques pleins D.P.....	Quart de cylindre droit sans évidement (5).
	Pour disques évidés rectangulairement D.E.R.	Quart de cylindre droit évidé au centre suivant un carré. Les plans diamétraux limitant les secteurs prolongent les diagonales de l'évidement (6).
Charges de torpilles automobiles.....	Tronconiques avec évidement circulaire.....	Tronc de cône avec évidement concentrique.
	Cylindriques.....	Cylindre droit plein.
Charges d'amorce pour torpilles automobiles..	Cylindres d'amorce. Modèle 1888.....	Avec canal d'amorce 44.7/25.
		Pleins 44.7/25

(1) Les tolérances en plus ou en moins admises sur les dimensions des gâteaux sont de 2,5 pour 100 pour les dimensions dans le sens normal au plan de compression et de 1 pour 100 pour les dimensions dans le sens de ce plan. Exceptionnellement, la tolérance sur la largeur est de $\pm 2^{mm}$, pour les carreaux 12/4/2 qui sont obtenus par sciage.

(2) La profondeur du vide intérieur est de 45^{mm} avec une tolérance de 5^{mm} en plus et de 3^{mm} en moins.

(3) Ces cylindres utilisés actuellement pour l'amorçage des torpilles vigilantes sont forés, les uns à $8^{mm},0$, les autres à $8^{mm},8$, de manière que deux cylindres superposés puissent loger une amorce à 2 gr. de fulminate.

1.

TEAUX DE COTON-POUDRE RÉGLEMENTAIRES.

HAUTEUR.	TOLÉRANCE en plus ou en moins (1).	CÔTÉ ou diamètre extérieur.	TOLÉRANCE en plus ou en moins (1).	DIAMÈTRE ou côté du vide intérieur.	TOLÉRANCE en plus ou en moins.	TOLÉRANCE en plus ou en moins sur l'excentricité du vide central.	POIDS moyen sec pour une densité égale à 1,10.
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
40	1,0	120	1,2	»	»	»	0,634
20	0,5	120	1,2	»	»	»	0,317
20	0,5	120/40	1,2/2,0	»	»	»	0,106
19,5	0,5	120/38	1,2/2,0	7,0	0,5	0,5	0,096
50	1,3	54	0,6	8,8	0,2	0,5	0,123
50	1,3	54	0,6	8,0	0,2	0,5	0,123
50	1,3	54	0,6	8,8	0,2	0,5	0,118
50	1,3	54	0,6	8,0	0,2	0,5	0,118
44	1,1	245	2,5	58,0	0,6	»	2,153
40	1,0	335	3,4	»	»	»	0,969
40	1,0	335	3,4	83,5	0,8	»	0,892

Les dimensions et les poids moyens des disques qui constituent les charges de torpilles automobiles des différents modèles sont indiqués dans l'Instruction sur le chargement des torpilles automobiles. Il n'est fixé aucune tolérance pour le diamètre extérieur de ces disques, mais ceux-ci doivent avoir leur contour extérieur ajusté à la demande des étuis fournis par la Marine.

Le diamètre du trou central doit être compris entre $46^{mm},8$ et $47^{mm},7$ (4).

La tolérance sur l'épaisseur des disques est de 2,5 pour 100.

La charge d'amorce est formée de 14 cylindres de coton-poudre à une humidité inférieure à 4 pour 100 et pesant ensemble 600^{gr} environ. Leur contour extérieur doit être ajusté à la demande des boîtes fournies par la marine; leur hauteur est de 25^{mm} avec une tolérance en plus ou en moins de $0^{mm},6$.

Les deux premiers cylindres sont percés suivant l'axe d'un canal dont le diamètre est compris entre $7^{mm},3$ et $7^{mm},7$.

Les charges sont livrées dans les étuis fournis par la marine.

(4) La section de la cannelure est formée par un arc de cercle de 8^{mm} de rayon; sa profondeur est de $6^{mm},0$ et les arêtes sont abattues par des arcs de cercle de 2^{mm} de rayon.

(5) Les dimensions indiquées sont celles du cylindre formé par l'assemblage de 4 secteurs; il sera admis une tolérance de 1°,5 en plus ou en moins sur l'angle d'ouverture des secteurs.

(6) Le logement de la boîte d'amorce dans la charge sera vérifié au moyen de deux cylindres; l'un ayant la longueur de la boîte et un diamètre de $46^{mm},6$ devra pénétrer entièrement; l'autre, de petite longueur, ayant $47^{mm},8$, ne devra pouvoir pénétrer dans le trou d'aucun gâteau.

ANNEXE N° 2.

FORMES, DIMENSIONS ET MARQUES DES CAISSES D'EMBALLAGE DU COTON-POUDRE.

Les caisses d'emballage pour les carreaux et cylindres d'amorce sont les seules habituellement fournies par le service des poudres et salpêtres.

Les caisses et étuis de torpilles automobiles et charges d'amorce, et les caisses métalliques pour l'emballage des disques et des secteurs, sont fabriqués par les soins de la marine et mis, pour être remplis, à la disposition de la poudrerie.

Les caisses pour carreaux et cylindres sont en bois de sapin et de forme parallélépipédique.

Les côtés sont simplement cloués au moyen de pointes en zinc; le couvercle formé par l'une des longues faces est fixé à l'aide de vis en cuivre.

Dimensions des caisses. — Ces caisses ont les dimensions suivantes :

		CAISSES pour carreaux.	CAISSES pour cylindres.
		mm mm	mm mm
Dimensions intérieures.	Longueur.....	630 ± 5	570 ± 5
	Largeur.....	130 ± 2	190 ± 5
	Hauteur	170 ± 2	120 ± 2
Épaisseur du bois.....		20 ± 1	20 ± 1

Mode d'encaissement. — Les gâteaux sont disposés dans les caisses de la façon suivante :

DÉSIGNATION des gâteaux.	CONTENANCE d'une caisse.	MODE d'encaissement.
Grands carreaux épais. G. C. 12/12/4..	20 carreaux pesant secs environ $12^{kg},700$.	15 carreaux placés de champ. 1 rang de 5 carreaux posé à plat par dessus.
Grands carreaux minces. G. C. 12/12/2...	40 carreaux pesant secs environ $12^{kg},700$.	30 carreaux placés de champ. 2 rangs de 5 carreaux posés à plat par dessus.
Carreaux prismatiques. P. R. 12/4/2.....	120 carreaux pesant secs environ $12^{kg},700$.	3 rangs de 30 carreaux placés de champ. 2 couches de 15 carreaux posés à plat par dessus.
Cylindres d'amorce modèle 1882 C. A. 50/40.	60 cylindres pesant secs environ $7^{kg},300$.	2 couches formées de 30 cylindres placés debout sur 3 rangs de 10.
Cylindres d'amorce modèle 1888. C. A. 44,7/25.	192 cylindres pesant secs environ $8^{kg},600$.	4 couches formées de 48 cylindres placés debout sur 4 rangs de 12.

Les gâteaux, afin de n'éprouver aucun mouvement dans les transports, sont calés par côté et par bout au moyen de planchettes en sapin amincies en forme de coins et d'épaisseur variable, de façon à tenir compte des variations de dimensions des gâteaux et de celles des caisses.

Marques des caisses d'emballage de coton-poudre. — Les caisses d'emballage de coton-poudre reçoivent des inscriptions à la peinture noire faisant connaître le nom de la poudrerie, la nature du contenu de la caisse avec indication des dimensions des gâteaux, l'année de la fabrication, le numéro du lot et le poids net du coton-poudre.

Pour désigner le contenu des caisses, on emploie les abréviations indiquées dans le tableau de l'annexe n° 1.

Les inscriptions sont faites comme le montrent les modèles ci-dessous :

1

Caisse pour carreaux
(vue par bout).

MOULIN BLANC
—
Coton-poudre.
Lot n° 2. — 1891.
20 G. C. 12/12/4.
Poids net 12^{kg},65

2

Caisse pour cylindres
(vue par bout).

MOULIN BLANC
—
Coton-poudre.
Lot n° 4 — 1890.
60 C. A. 54/50.
Poids net 7^{kg},35.

3

Caisse pour disques.

MOULIN BLANC
Coton-poud.
Lot n° 6. — 1890.
10 D. E. C. 215/44.
Poids net
21^{kg},50

4

Caisse pour sections.

MOULIN BLANC
Coton-poudre.
Lot n° 10. — 1891.
10 D. P. 335/40.
Poids net 38^{kg},80.

5 6

Caisses pour torpilles automobiles

(vue par bout). (vue par côté).

Coton-poudre humide.
C. C
torpilles automobiles
de 0^{m},356,
Modèle 1880.
N°

MOULIN BLANC.
—
Lot n° 5. — 1891.
Poids net 17^{kg},75.

(Les étuis métalliques des torpilles automobiles ne reçoivent de la poudrerie aucune inscription.)

7

Boîte d'amorce pour torpilles automobiles.

COTON-POUDRE SEC
torpilles aut.
MOULIN BLANC 1872
C. C.
Poids net 0^{kg},63
id. brut 1^{kg},20
N°

8 9

Boîte en bois pour boîte d'amorce de torpilles automobiles

(vue par bout). (vue par côté).

2 boites d'amorces.
Modèle 1894 modifié
pour
torpilles automobiles.
N° N°

MOULIN BLANC.
—
Lot n° 8. — 1891.
Poids net 1^{kg},26.

NOTA. — La marque C.C. indique que le coton-poudre a été carbonaté au carbonate de chaux.

MINISTÈRE DE LA GUERRE.

ANNEXE N° 3.

Poudrerie nationale du Moulin-Blanc.

SERVICE des poudres et salpêtres.

PROCÈS-VERBAL D'ÉPREUVES

ÉPREUVES DE COTON-POUDRE

FABRIQUÉ POUR LE SERVICE DE LA MARINE

ÉPREUVE faite le

par la Commission spéciale, composée de :

MM.

DÉSIGNATION ET POIDS NET DES LOTS PRÉSENTÉS EN RECETTE :

Commande de la Marine en date du

NUMÉROS des lots.	DÉSIGNATION des gâteaux ou charges.	NOMBRE de caisses.	NOMBRE total de gâteaux ou charges.	POIDS NET par caisse.	POIDS NET total.
				kg	kg
N° 16. 1890.	Cylindres d'amorce 45/50 avec canal d'amorce..	5	480	8,35	41,75
N° 17. 1890.	Cylindres d'amorce 45/25.	27	5184	8,64	223,28
			Total.....		265,03

Examen des formes extérieures.

DÉSIGNATION des gâteaux ou charges.	NOMBRE de gâteaux ou charges		PROPORTION pour 100 des rebuts.	NOMBRE DE REBUTS par nature			OBSERVATIONS.
	vérifiés.	rebutés pour défaut de forme.					

Mesure d'humidité et de densité.

NATURE et numéro d'ordre des échantillons.	POIDS des échantillons		HUMIDITÉ.	DIMENSIONS mesurées.			VOLUME calculé.	DENSITÉ.	OBSERVATIONS.
	humides.	secs.							

ÉPREUVES DE SOLUBILITÉ, D'ALCALINITÉ ET DE CHALEUR.

NATURE et numéro d'ordre des échantillons.	ÉPREUVE de solubilité. — PERTE de poids. — Limite supérieure admise : 0 gr. 4 sur 3 gr.	ÉPREUVE d'alcalinité. — PROPORTION de carbonate. — Limite admise : de 2 à 4 pour 100.	ÉPREUVE de chaleur. — DURÉE de l'épreuve. — Limite inférieure admise : 10 minutes.	OBSERVATIONS.

OBSERVATIONS SUR LES PARTICULARITÉS DES ÉPREUVES.

AVIS DE LA COMMISSION.

Moulin-Blanc, le

Les membres de la commission,

Approuvé :
Paris, le 4 novembre 1891.
Le sénateur,
ministre de la marine,
E. BARBEY.

Proposé à l'approbation du ministre,
Le capitaine de vaisseau,
chef du service des défenses sous-marines,
P. LE MERCIER.

N° 153.

MISE EN VENTE DES CARTOUCHES DE POUDRE DE MINE COMPRIMÉE EN ALGÉRIE.

(Lettre collective n° 1.)

Paris, le 4 janvier 1892.

Messieurs, je vous informe que, sur la demande de M. le ministre des travaux publics, j'ai décidé, de concert avec M. le ministre des finances, que la poudrerie nationale de Saint-Chamas serait chargée de confectionner les cartouches de poudre de mine comprimée à destination de l'Algérie, et de les faire parvenir, sur leurs demandes, à MM. les entreposeurs des poudres.

Un décret en date du 25 novembre 1891 (1), inséré au *Journal officiel* du 27 du même mois, a fixé le prix de vente ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION.		ENTREPÔTS.	DÉBITS.
Cartouches de poudre de mine comprimée.....	lente.....	1,25	1,50
	ordinaire	1,75	2,00
	forte.....	2,10	2,35

Les cartouches seront renfermées dans des caisses spéciales contenant 50^{kg}, lesquelles ne devront pas faire retour au service des poudres, et seront facturées comme matériel d'emballage sans valeur. Une simple caisse suffira, d'ailleurs, pour l'emballage, même en cas de transport par voie de fer, puisque les poudres comprimées sont renfermées dans une première enveloppe en papier.

(1) Voir ci-dessus n° 150.

Les diamètres et poids des cartouches qui sont fabriquées par la poudrerie de Saint-Chamas, et qui pourront seules être demandées par les entrepôts, sont indiqués dans le tableau suivant :

DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE DU TROU CENTRAL		HAUTEUR.	POIDS au kilogramme.
	en haut.	en bas.		
mm	mm	mm	mm	mm
22	6	8	53	30
25	6	10	53	30
30	6	10	53	20
35	6	10	53	16
40	6	10	53	10

Je vous prie de m'accuser réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

N° 134.

STATISTIQUE DES ACCIDENTS.

(Lettre collective n° 2.)

Paris, le 27 janvier 1892.

Messieurs, ma lettre collective n° 8 du 12 juin 1889 (1) vous a fait connaître que, pour l'ensemble du service, la proportion des victimes, par année et par 1000 ouvriers, s'était successivement abaissée de 3,63 (période de 1820-1872) à 2,61 (période de 1873-1883) et à 0,68 (période de 1884-1888).

Il ressortait, en outre, de l'un des tableaux joints à la lettre collective que, pour la période actuelle, les établissements du

(1) Voir 4 *109.

service des poudres doivent être rangés parmi ceux où le travail présente la plus grande sécurité relative.

Le tableau ci-après complète et résume l'ensemble des résultats obtenus jusqu'à la fin de l'année 1891, aussi bien pour les poudreries nationales que pour les dynamiteries privées (Paulilles, Ablon ou Saint-Sauveur, Cugny, Matagne).

PÉRIODE.	NOMBRE DES OUVRIERS employés.	NOMBRE DES OUVRIERS tués.	PROPORTION des victimes par 1000 ouvriers et par année.	OBSERVATIONS.
	I. — POUDRERIES NATIONALES.			
1820-1872	7167	26	3,63	(a) L'un des accidents n'a pas été causé par une explosion.
1873-1883	16091	42	2,61	
1884-1891	19420	8(a)	0,41	
	II. — DYNAMITERIES PRIVÉES.			
1879-1891	1934	31	16,03	

Je vous prie, Messieurs, de m'accuser réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

N° 155.

ARRÊTÉ DU 23 JANVIER 1892, Fixant les prix de vente des poudres à feu destinées à l'exportation.

LE MINISTRE DES FINANCES,

Vu le décret du 21 mai 1886 relatif à l'exportation des poudres à feu;
Vu l'arrêté du 26 mai 1886;
Vu la lettre du ministre de la guerre, en date du 31 décembre 1891;

Vu la lettre du directeur général des contributions indirectes, en date du 13 janvier 1892;

Vu les traités des 20 novembre 1815 et 24 mars 1860, qui ont placé le pays de Gex et la partie neutralisée de la Haute-Savoie en dehors de la ligne des douanes,

ARRÊTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu destinées à l'exportation (1) sont fixés ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100^{fr} :

(1) L'exportation s'entend des envois à l'étranger ou dans les colonies et possessions françaises, l'Algérie et la Tunisie exceptées.

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX par kilogramme à payer par les exportateurs.	OBSERVATIONS.
			fr	
Poudres de commerce extérieur.....	ordinaire.....		0,625	Y compris l'emballage pour les barillages supérieurs à 9kg.
	forte.....		0,66	
. Poudres de mine	ronde ou anguleuse	lente.....	0,56	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées en grains ou à l'état de cartouches comprimées.
		ordinaire.....	0,80	
		forte.....	0,85	
	fin grain	ordinaire.....	1,20	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées en grains ou à l'état de mèches de sûreté.
		forte.....	1,25	
	au nitrate d'ammoniaque.		1,50	Non compris l'encaissage. Destinées à être exportées à l'état de cartouches comprimées.
	au nitrate de soude.....		0,80	
	Cartouches comprimées au coton-poudre et au nitrate d'ammoniaque	N° 1....	2,00	Non compris l'encaissage.
		N° 2....	2,25	
Poudres de guerre	Ancienne fabrication (1)...		1,25	Non compris l'emballage. Destinée à être exportée à l'état nu ou à l'état de cartouches ou de pièces d'artifices.
	Nouveaux types (2)	à canon	noire..	1,75	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu ou à l'état de munitions confectionnées.
			brune.	2,00	
		...il.....		2,00	
	dites BN (3) à canon et à fusil.			9,50	

(1) Cette désignation s'applique aux anciens types dits à canon et à mousquet.

(2) L'exportation de ces poudres pourra être suspendue par un arrêté du ministre de la guerre.

(3) Les poudres de guerre dites BN sont des poudres à grande puissance balistique, destinées aux fusils de petit calibre et aux canons de tous calibres. L'exportation pourra en être suspendue par arrêté ministériel.

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX par kilogramme à payer par les exportateurs.	OBSERVATIONS.
			fr c	
Poudres de chasse	livrées en boîtes.	ordinaire (fine)..	2,00	Non compris l'encaissage.
		forte (superfine)..	2,75	Destinées à être exportées en boîtes ou à l'état de cartouches.
		spéciale (ou extra-fine).....	3,25	
	livrées à nu dans des barils.	ordinaire (fine)..	1,40	Non compris l'emballage.
		forte (superfine).	1,65	Destinées à être exportées à l'état nu.
		spéciale (ou extra-fine).....	1,90	
Poudres pyroxylées, livrées en boîtes..			14,00	Non compris l'encaissage. Destinées à être exportées en boîtes ou à l'état de cartouches.
Coton azotique (pour dynamites).....			5,25	Non compris l'encaissage.
Coton-poudre de guerre (1)....	en charges comprimées		6,50	Non compris l'encaissage.
	en pâte.....		4,50	

(1) L'exportation du coton-poudre de guerre pourra également être suspendue par un arrêté du ministre de la guerre.

ART. 2. — Les types de poudre de guerre dont l'exportation est autorisée sont les suivants :

Anciens types : poudres de guerre dites à canon et à mousquet;

Nouveaux types : poudres à canon noires : C_1, C_2, SP_1, SP_2, A 26/34, A 30/40, prismatiques, RS; brunes : prismatiques;

Poudres à fusil F_1, F_2;

Poudres BN à canon et à fusil;

Coton-poudre de guerre en charges comprimées, en pâte.

ART. 3. — Les prix d'exportation fixés pour les poudres de mine, de guerre, de chasse et pour le coton azotique sont applicables aux explosifs de même espèce vendus par la régie dans le pays de Gex et dans la zone neutralisée de la Haute-Savoie.

ART. 4. — Les poudres de commerce extérieur vendues exclusivement pour l'exportation par la voie maritime pourront être livrées en barillets dont les contenances sont indiquées au tableau ci-après avec les plus-values par 100^{kg} de poudre.

DÉNOMINATION DES BARILLAGES. 1		CONTENANCES normales. 2	PLUS-VALUE à payer par 100 kilogr. de poudre. 3
		kg	fr c
Barillets.....	Baril.....	45,000	»
	Demi-baril.....	22,500	»
	Quart de baril.....	11,250	»
Barillets.....	Cinquième de baril.....	9,000	0,10
		8,000	1,50
	Sixième de baril.....	7,500	2,00
		7,000	3,00
		6,000	5,00
	Dixième de baril...	5,000	8,00
		4,500	8,00
		4,000	9,00
	Douzième de baril.....	3,750	10,00
		3,000	15,00
	Vingtième de baril.	2,250	17,00
		2,000	20,00
	Vingt-cinquième de baril.....	1,800	25,00
	Trentième de baril.....	1,500	30,00

Les barillets désignés dans la colonne 1 du tableau ci-dessus pourront contenir des poids de poudre variables compris entre 9^{kg} et 1^{kg},500. Les plus-values à payer pour les contenances intermédiaires entre deux chiffres consécutifs de la colonne 2 seront égales à celles correspondant à la contenance immédiatement inférieure.

ART. 5. — Le présent arrêté sera déposé au bureau du contreseing pour être notifié à qui de droit. Il sera publié au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Paris, le 23 janvier 1892.

ROUVIER.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

FIXATION POUR 1892 DES PRIX DE VENTE DES POUDRES D'EXPORTATION.

(Circulaire n° 21 du 2 février 1892.)

En exécution de l'art. 11 du décret du 21 mai 1886, un arrêté du ministre des finances, en date du 23 janvier, dont le texte est reproduit à la suite de la présente circulaire, a fixé pour 1892 les prix de vente des poudres destinées à être exportées et a déterminé les espèces de poudres de guerre admises à l'exportation.

Les tarifs en vigueur l'année dernière ont été maintenus, sauf en ce qui concerne quatre des prix actuels qui ont été relevés et portés, savoir :

1° Le prix du kilogramme de poudre de mine lente, à $0^{fr},56$;

2° Le prix de la poudre forte superfine livrée en boîtes, à $2^{fr},75$ le kilogramme;

3° Le prix de la poudre spéciale extra-fine livrée en boîtes, à $3^{fr},25$ le kilogramme;

4° Enfin, le prix du coton-poudre de guerre en charges comprimées, à $6^{fr},50$ le kilogramme.

Ces majorations de prix sont nécessitées par des modifications apportées soit dans le dosage et la valeur des matières composantes, soit dans la forme des boîtes; l'augmentation du prix du coton-poudre de guerre est due à l'importance des frais de transport qu'entraîne la livraison, en un point quelconque des frontières, de cette matière fabriquée exclusivement à la poudrerie du Moulin-Blanc (Finistère). C'est également pour réduire l'importance des frais de transport qu'occasionne la livraison à l'exportation de faibles quantités d'explosifs, qu'a été insérée dans l'article premier de l'arrêté précité la condition d'une valeur minimum de 100^{fr} par commande. Il est bien entendu que cette condition ne devra pas être exigée des débitants de poudre établis dans le pays de Gex et dans la zone neutralisée de la Haute-Savoie.

Pour les indications générales relatives à l'exportation des poudres, le service continuera de se reporter à la circulaire n° 432, du 6 juin 1886, ainsi qu'à la notice imprimée à la suite de la circulaire n° 580, du 1er février 1890 (1).

Le conseiller d'état, directeur général,
A. CATUSSE.

(1) Voir 5 *7.

N° 156.

EMBALLAGE DES POUDRES DESTINÉES A L'EXPORTATION.

(Lettre collective n° 3.)

Paris, le 2 mars 1892.

Messieurs, je vous préviens que j'ai décidé, de concert avec M. le ministre des finances, qu'à dater du 1er avril prochain tous les emballages des poudres destinées à l'exportation seront munis d'une marque distinctive facilement reconnaissable.

A cet effet, des estampilles spéciales, portant le mot *exportation,* qui devra être marqué *en rouge,* seront envoyées aux poudreries par les soins du laboratoire central des poudres et salpêtres.

Des instructions seront, en outre, adressées aux entreposeurs des contributions indirectes, pour que toutes leurs demandes mentionnent explicitement les espèces et quantités de poudres destinées à l'exportation.

Je vous prie, Messieurs, de m'accuser réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

N° 157.

JUSTIFICATIONS A EXIGER DES FABRICANTS ET DES ÉPROUVEURS D'ARMES, A L'APPUI DE LEURS DEMANDES DE POUDRES. — APPOSITION D'UNE MARQUE DISTINCTIVE SUR LES EMBALLAGES DE POUDRES DESTINÉES A L'EXPORTATION.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

(Lettre commune n° 29 du 28 mars 1892.)

Monsieur le Directeur,

La livraison aux fabricants et aux éprouveurs d'armes, de poudres de guerre destinées aux épreuves des armes, a été la

conséquence nécessaire de la loi du 14 août 1885 sur la fabrication et le commerce des armes et des munitions non chargées, attendu que l'exécution des épreuves de tir, par les fabricants, est indispensable à l'exercice de leur industrie.

La loi précitée n'impose aux fabricants aucune formalité, en ce qui concerne les armes non réglementaires et les munitions non chargées employées pour ces armes, et elle n'exige, pour les armes et munitions des modèles réglementaires, que l'envoi au préfet du département d'une simple déclaration dont il est délivré un récépissé.

Bien qu'il ne puisse être apporté de restriction à l'exercice des droits accordés par la loi susvisée, en soumettant à des formalités spéciales la livraison des poudres nécessaires aux épreuves, il convient cependant qu'avant d'accueillir une demande et de faire venir des poudres en entrepôt, l'administration soit assurée que les demandeurs sont en situation d'utiliser les poudres pour leurs épreuves. D'ailleurs, la circulaire n° 1046 du 22 novembre 1866 a bien eu soin de spécifier que les fabricants d'armes dûment patentés et les éprouveurs d'armes dûment commissionnés étaient seuls admis à s'approvisionner de poudre de guerre.

En ce qui concerne les poudres destinées à l'armement des navires et à l'exportation, une disposition spéciale a été insérée dans le décret du 21 mai 1886, dont l'art. 2 spécifie que les déclarations annexées aux demandes de poudres faites par les armateurs et les exportateurs doivent être visées, pour les exportations maritimes, par le commissaire de marine du lieu de l'armement ou de l'embarquement, et, pour les exportations par la voie de terre, par le préfet du département où réside le négociant pour le compte duquel se fait l'exportation.

Par analogie avec cette disposition, il y a lieu d'exiger, à l'avenir, que toutes les demandes de poudres pour l'épreuve des armes, lesquelles bénéficient du tarif d'exportation, soient appuyées ou d'un extrait certifié de la patente des demandeurs, ou d'un certificat de l'autorité municipale établissant leur qualité ou profession de fabricant d'armes. La présentation de l'une ou l'autre de ces deux pièces, en faisant connaître exactement le siège de la fabrication des armes et le lieu d'emploi des poudres, ne pourra que faciliter l'exercice des mesures de contrôle et de sur-

veillance établies antérieurement et qui se trouvent indiquées page 7 de la circulaire n° 452, du 6 juin 1886.

A l'avenir, les fabricants et les éprouveurs d'armes devront adresser leurs demandes, appuyées de l'une des deux pièces ci-dessus, à l'entrepôt de la régie le plus rapproché du lieu où la poudre doit être livrée. Les entreposeurs transmettront ces demandes, par la voie hiérarchique, aux directeurs des poudreries, lesquels en référeront, si besoin est, au ministre de la guerre, suivant les instructions qui leur seront spécialement données à cet effet.

J'appelle tout particulièrement votre attention sur ce point que les entreposeurs ne doivent pas subordonner la commande des poudres de l'espèce à la réception d'une autorisation préalable émanant, soit du ministre de la guerre, soit de l'administration.

Sans doute, ainsi que le mentionne la note commune du 6 mars 1891, n° 1623, la plupart des commandes importantes pour l'exportation, ainsi que des commandes pour les épreuves ou essais d'armes, sont faites directement à la direction des poudres et salpêtres du ministère de la guerre et, dans ce cas, l'administration transmet un avis lithographié indiquant le tarif à appliquer.

Mais ce n'est pas là une règle à laquelle les négociants sont tenus de se conformer.

L'envoi des demandes au ministre de la guerre n'a pas, non plus, pour objet d'obtenir une autorisation de livraison, mais de déterminer les types des poudres à fournir et de savoir si le service des poudres et salpêtres est en mesure de les fabriquer.

Il convient, à cet effet, de rappeler aux entreposeurs qu'ils doivent, sans avis préalable de l'administration, appliquer d'office aux commandes de l'espèce le tarif d'exportation des poudres à feu, tarif revisé et fixé à nouveau, au commencement de chaque année, par un arrêté ministériel.

Afin de prévenir, dans le voisinage des frontières, la contrebande par réimportation, il a été créé, pour les poudres de chasse, des boîtes spéciales exclusivement réservées à l'exportation.

Les mêmes considérations s'appliquent à toutes les espèces de poudres et particulièrement aux poudres de mine.

En conséquence, sur l'avis du ministre de la guerre, il a été décidé qu'à partir du 1er avril prochain, tous les emballages de poudres destinées à l'exportation seront munis d'une marque distinctive, facilement reconnaissable.

Les entreposeurs devront, à l'avenir, mentionner explicitement, sur toutes leurs demandes, les espèces et quantités de poudres destinées à l'exportation.

Recevez, Monsieur le directeur, l'assurance de mes sentiments de considération et d'attachement.

Le conseiller d'état, directeur général,
A. CATUSSE.

N° 158.

APPAREILS DE SUSPENSION DES MEULES.

(Lettre collective n° 8.)

Paris, le 7 juin 1892.

Messieurs, à la suite de l'explosion survenue le 1er juillet 1891, à l'usine à meules n° 3 de la poudrerie de Saint-Ponce, qui a fait l'objet de ma lettre collective, n° 10, du 2 septembre 1891, j'ai chargé la Commission de fabrication des poudres, conformément à la proposition contenue dans le rapport de M. l'inspecteur général Maurouard, de faire l'étude complète des appareils de suspension des meules et de rechercher les mesures qui pourraient être prises pour assurer leur efficacité contre les chocs des meules sur la piste.

Par un premier rapport, en date du 17 novembre 1891, la commission a demandé que les résultats des essais qui avaient dû être exécutés sur les appareils de suspension, conformément aux dispositions de la lettre collective, n° 25, du 26 juillet 1884, lui fussent communiqués, ou, à défaut d'exécution desdits essais, que de nouvelles expériences fussent entreprises avec les précautions indiquées par son rapport.

Des instructions conformes à cette demande ont été adressées,

le 30 novembre 1891, aux directeurs des poudreries encore pourvues d'usines à meules lourdes, et les comptes rendus des essais, dont le dernier m'est parvenu le 12 mars 1892, ont été transmis le 15 mars à la commission de fabrication.

Je vous adresse, ci-joint, un exemplaire du rapport, en date du 21 mai 1892, qui a été établi par la commission et duquel il ressort que, pour assurer l'efficacité des appareils de suspension des meules, il suffit d'observer exactement les prescriptions contenues dans la lettre collective précitée, du 26 juillet 1884.

Adoptant les conclusions de la commission, j'invite les directeurs des poudreries à tenir la main à l'exécution des instructions de ladite lettre, au sujet du réglage des appareils de suspension, c'est-à-dire à fixer à 4^{mm} la distance entre les meules suspendues au repos et la piste, et à faire vérifier et rectifier, s'il y a lieu, la hauteur du réglage, au moins une fois par semaine.

J'appelle, en outre, l'attention des ingénieurs sur la nécessité d'assurer la solidité du clavetage des potences sur l'arbre vertical des meules, de donner, dans les usines de grandes dimensions, une rigidité aussi complète que possible aux poutres en bois ou en fer qui supportent les transmissions supérieures et maintiennent l'extrémité de l'arbre vertical, et enfin de tourner les meules et dresser les pistes lorsque la hauteur du réglage devient variable aux différents points du parcours des meules, par suite de l'usure irrégulière des surfaces.

Vous voudrez bien, Messieurs, m'accuser réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

COMMISSION DE FABRICATION DES POUDRES.

RAPPORT

sur les appareils de suspension des meules.

Dans un rapport établi à la date du 17 novembre 1891, la commission de fabrication avait demandé qu'il lui fût donné connaissance des résultats obtenus, par les différentes poudreries, dans les essais relatifs aux appa-

Or, c
marche ord
bien difficile q
hauteurs de 25m
élévation, la rencon
analogue, tombé sur la
ment même de l'obstacle s
Ce n'est qu'en portant la ha
la poudrerie de Saint-Ponce, le
directeur de cet établissement, tout
de mettre sur le compte de ces choc
laquelle on n'aura pu trouver aucune autr
dant que, dans ces conditions, leur probabilité
La commission estime donc que les appareils
sont installés aujourd'hui, remplissent bien le but en
adoptés, et que pour assurer leur efficacité il suffit de te
servation des prescriptions de la lettre collective du 26 juil
Comme on l'a indiqué dans le rapport du 17 novembre 188
intéressant de comparer les dispositions diverses adoptées par les
ries pour ces appareils; mais trois établissement seulement, Saint-Cha
Saint-Ponce et Sevran, ont donné le dessin des appareils employés.
La commission ne peut donc que signaler les défectuosités
de Saint-Chamas, dont les dimensions, très inférieures à celles qui sont
indiquées sur le dessin joint à la lettre collective n° 25 du 26 juillet 1884,
paraissent trop faibles.
Elle appelle également l'attention sur les remarques faites par la
poudrerie de Toulouse, au sujet du jeu qui peut s'établir dans le clave-

tage sur l'arbre vertical de la traverse portant les tiges de suspension; il est évident que ce clavetage doit être solide pour qu'aucun jeu ne se produise, et ce résultat ne paraît pas très difficile à obtenir, puisqu'en marche courante la traverse horizontale ne subit que des efforts bien faibles.

Paris, le 21 mai 1892.

Le rapporteur,
LAMBERT.

Adopté par la Commission de fabrication des poudres, dans sa séance du 21 mai 1892.

Le secrétaire,
DÉSORTIAUX.

Le président,
G. MAUROUARD.

N° 139.

MISE EN VENTE DE NOUVELLES POUDRES DE CHASSE PYROXYLÉES.

(Lettre collective n° 9.)

Paris, le 8 juin 1892.

Messieurs, les poudres de chasse pyroxylées qui, depuis 1882, sont fabriquées par le service des poudres et salpêtres et livrées à la consommation, ont été, malgré les améliorations notables que leur fabrication a reçues en 1889 (1), l'objet de plaintes diverses sur lesquelles mon attention a été appelée à maintes reprises : les consommateurs signalent, tantôt la trop grande quantité de fumée qu'elles produisent, tantôt les résidus solides et durs qu'elles laissent dans les armes, tantôt l'excès de vivacité qu'elles accusent dès qu'elles sont employées dans un état de dessiccation trop complète ou à une charge un peu supérieure à celle qu'indiquent les instructions jointes aux boîtes les contenant.

J'ai, en conséquence, fait rechercher de nouveaux types de poudres dont l'emploi ne donnât plus lieu à ces divers inconvénients.

Les recherches exécutées dans les poudreries de Vonges et de

(1) Voir 3 13.

Sevran-Livry ont conduit à la détermination de deux nouveaux types de poudre de chasse qui ont été désignés, celui de Vonges par la lettre P, celui de Sevran-Livry par la lettre J, et qui jouissent des propriétés suivantes :

Les poudres pyroxylées P et J donnent moins de fumée dans le tir que la poudre pyroxylée ordinaire, dénommée poudre S ; elles brûlent complètement dans les armes et n'y laissent pas de résidus solides ou adhérents ; elles ne donnent pas, pour les augmentations de charge compatibles avec le volume des douilles ordinaires, des pressions excessives ou dangereuses pour les armes.

Leur emploi devra donc faire cesser les plaintes auxquelles la poudre actuelle S a donné lieu de la part de certains consommateurs.

Au cours des expériences entreprises sur les poudres pyroxylées de chasse, les ingénieurs des poudres et salpêtres ont, en outre, reconnu qu'il convient de créer, dans chaque type, une série de numéros de grosseur, comme il a été fait pour les poudres noires, afin de les approprier plus complètement aux armes des différents calibres usités en France : dans chaque type on aura, pour le calibre 12, la grosseur n° 1, et pour les calibres 16 et 20, la grosseur n° 2. De plus, dans le type J, dont le mode de fabrication s'y prête le mieux, on aura la grosseur n° 0, pour les carabines de précision rayées, et la grosseur n° 3 pour les pistolets de tir ; ces deux derniers numéros de grosseur étant destinés à satisfaire à des demandes faites par des armuriers de Paris à la suite d'essais exécutés, avec le concours de l'un d'eux, par le service des poudres et salpêtres.

La série des poudres pyroxylées de chasse, à offrir aux consommateurs, est donc celle qu'indique le tableau suivant.

DÉNOMINATION.	ESPÈCE.	N^os de grosseur.	DESTINATION.
Poudre pyroxylée S..	Type actuel....	n° 1	fusils de chasse calibre 12.
		n° 2	fusils de chasse calibres 16 et 20.
Poudre pyroxylée P..	Type de Vonges	n° 1	fusils de chasse calibre 12.
		n° 2	fusils de chasse calibres 16 et 20.
Poudre pyroxylée J..	Type de Sevran-Livry.....	n° 0	carabines rayées.
		n° 1	fusils de chasse calibre 12.
		n° 2	fusils de chasse calibres 16 et 20.
		n° 3	pistolets et revolvers.

Ces divers types de poudre seront mis en vente, à dater du 1^er juillet prochain, au même prix que le type actuel de poudre de chasse pyroxylée.

Les demandes continueront d'être adressées à la poudrerie de Sévran-Livry, à l'exception des demandes concernant l'Algérie, qui devront être renvoyées à la poudrerie de Saint-Chamas.

Pour les poudres des types J et P, la forme générale des boîtes sera conservée; la hauteur seule en sera modifiée d'après la densité gravimétrique des poudres. Ces boîtes, dont les contenances seront 100^gr, 200^gr, 500^gr et 1^kgr, seront recouvertes d'un vernis rouge pour la poudre J, brun pour la poudre P, et munies d'étiquettes indiquant le type et le numéro de poudre, la contenance et le prix de vente.

Pour les poudres du type S, on conservera provisoirement les boîtes imprimées actuelles, en ajoutant sur la partie conique une étiquette blanche portant les inscriptions nécessaires.

Une notice indiquant la nature et le mode d'emploi de la poudre sera jointe à chaque boîte.

Pour tous les types, les boîtes seront placées dans des caisses des modèles actuellement en usage contenant respectivement 9^kgr et 2^kgr de poudre pyroxylée.

C. DE FREYCINET.

MISE EN VENTE DE NOUVELLES POUDRES PYROXYLÉES DE CHASSE.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

(Circulaire n° 33, du 16 juin 1892.)

... Les poudres de chasse pyroxylées restant en approvisionnement à la date du 1er juillet prochain dans les entrepôts devront être classées comme poudres du nouveau type S n° 2 et vendues comme telles.

Les prix de revient des nouvelles poudres P et J étant sensiblement les mêmes que celui de la poudre pyroxylée ordinaire S, le prix de vente actuel de cette dernière deviendra applicable à toutes les espèces.

Au début, il conviendra de limiter strictement les commandes aux demandes des consommateurs et de régler sur ces premières commandes l'importance des approvisionnements à constituer.

En ce qui concerne la conservation des poudres pyroxylées, aucune mesure nouvelle n'est à prescrire autre que celles contenues dans la circulaire n° 595, du 11 juillet 1890.

Le conseiller d'État, directeur général :

A. CATUSSE.

FIN DE LA DEUXIÈME PARTIE DU TOME VI.

TABLE ANALYTIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

Pages.

Dictionnaire des explosifs; par M. le lieutenant-colonel J.-P. CUNDILL, de l'artillerie royale anglaise, inspecteur des explosifs (traduction, suite et fin) 7

INDEX ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES PREMIÈRES..... 122

Note sur quelques formules de balistique; par M. ROGER LIOUVILLE, ingénieur des poudres et salpêtres..... 133

I. — ÉTUDE DU CANON WILLE..... 135

II. — ÉTUDE GÉNÉRALE D'UN CANON DE LONGUEUR MINIMUM..... 136

Sur les vibrations élastiques des canons; par M. ROGER LIOUVILLE, ingénieur des poudres et salpêtres..... 146

INTRODUCTION..... 146

ANALYSE..... 153

Tableau de quelques valeurs de la fonction $Z(\xi)$..... 175

Note sur un procédé de déshydratation du coton-poudre; par M. MESSIER, ingénieur des poudres et salpêtres..... 176

Emploi des poudres de chasse pyroxylées type J; par M. BARRAL, ingénieur des poudres et salpêtres..... 194

Compte rendu des travaux de la Commission des substances explosives pendant l'année 1892..... 211

I. Analyse des rapports établis pendant l'année..... 211

II. Revue des travaux effectués pendant l'année..... 219

ANNEXE. — Composition de la Commission des substances explosives au 31 décembre 1892..... 222

Pages.

Température développée dans les armes par le tir. — Extrait des rapports de MM. les capitaines BERTRAND, du 103e régiment de ligne, et LAROCHE, du 18e bataillon de chasseurs..... 224

NOTE PRÉLIMINAIRE, par M. A. BILLARDON..... 224

Sur les vibrations élastiques des canons (deuxième note); par M. ROGER LIOUVILLE, ingénieur des poudres et salpêtres..... 245

INTRODUCTION..... 245

ANALYSE..... 248

Étude sur le mode de combustion des matières explosives, par M. VIEILLE, ingénieur des poudres et salpêtres..... 256

AVANT-PROPOS..... 256

CHAP. I. — APPAREILS ET MÉTHODES D'OBSERVATION..... 263

I. Appareils..... 263

II. Méthodes d'observation..... 267

CHAP. II. — ÉTUDE DU MODE DE COMBUSTION DES MATIÈRES DE POUDRE NOIRE..... 287

I. Premières données qualitatives concernant le mode de combustion des poudres usuelles..... 287

II. Mode de combustion des matières compactes..... 296

CHAP. III. — INFLUENCE DE LA COMPRESSION SUR LE MODE DE COMBUSTION DES MATIÈRES PULVÉRULENTES OU GRENÉES..... 303

I. Rôle de l'agglomération dans la combustion des poudres usuelles..... 303

II. Première série. — Agglomération des matières pulvérulentes..... 306

III. Seconde série..... 309

IV. Agglomération des matières grenées..... 315

V. Mode d'action général de la compression..... 321

VI. Influence de la pression sur les durées de combustion. 324

CHAP. IV. — CLASSEMENT, AU POINT DE VUE DE LA VIVACITÉ, DES MATIÈRES EMPLOYÉES A LA FABRICATION DES POUDRES..... 325

CHAP. V. — PARTICULARITÉS DE FONCTIONNEMENT DES POUDRES DU TYPE DE LA POUDRE NOIRE..... 334

Poudres à grains moulés isolément..... 335

Étude des poudres lissées..... 343

Pages.

Comparaison du mode de fonctionnement des poudres prismatiques et des poudres noires à gros grains.. 354

CHAP. VI. — MODE DE COMBUSTION DES POUDRES COLLOÏDALES. 357

I. Poudres colloïdales formées de coton-poudre pur... 357

II. Poudres colloïdales nitratées. 360

III. Poudres colloïdales à base de nitroglycérine. 361

CHAP. VII. — LOI ÉLÉMENTAIRE DE COMBUSTION DES MATIÈRES COMPACTES. 365

I. Matières de poudres noires ou brunes..... 366

II. Poudres colloïdales. 370

CHAP. VIII. — RECHERCHE DES ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOSIFS AU POINT DE VUE BALISTIQUE..... 376

I. Poudres du type de la poudre noire. 377

II. Poudres colloïdales..... 386

DEUXIÈME PARTIE.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

France.

N° 149. — EXPLOSION SURVENUE, LE 1er JUILLET 1891, DANS L'USINE A MEULES, N° 3, DE LA POUDRERIE DE SAINT-PONCE (Lettre collective n° 10)..... *3

N° 150. — DÉCRET DU 25 NOVEMBRE 1891, QUI FIXE LE PRIX DE VENTE, EN ALGÉRIE, DES CARTOUCHES DE POUDRE DE MINE COMPRIMÉE. .. *10

N° 151. — PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX MÉCANISMES OU A LA CHARGE DES USINES A MEULES (Lettre collective n° 11)..... *11

N° 152. — CONDITIONS DE RÉCEPTION DU COTON-POUDRE FABRIQUE POUR LE DÉPARTEMENT DE LA MARINE (Lettre collective n° 12)..... *15

Instruction du 4 novembre 1891 sur les conditions de réception du coton-poudre fabriqué par le service des poudres et salpêtres pour le département de la marine. *16

Pages.

Annexe n° 1. — Dénominations, formes, dimensions et poids moyen des gâteaux de coton-poudre réglementaires.... *24

Annexe n° 2. — Formes, dimensions et marques des caisses d'emballage du coton-poudre..... *26

Annexe n° 3. — Procès-verbal d'épreuves. — Épreuves de coton-poudre fabriqué pour le service de la marine..... *29

N° 153. — MISE EN VENTE DES CARTOUCHES DE POUDRE DE MINE COMPRIMÉE EN ALGÉRIE (Lettre collective n° 1)..... *33

N° 154. — STATISTIQUE DES ACCIDENTS (Lettre collective n° 2)..... *34

N° 155. — ARRÊTÉ DU 23 JANVIER 1892, FIXANT LES PRIX DE VENTE DES POUDRES A FEU DESTINÉES A L'EXPORTATION..... *35

N° 156. — EMBALLAGE DES POUDRES DESTINÉES A L'EXPORTATION (Lettre collective n° 3)..... *41

N° 157. — JUSTIFICATIONS A EXIGER DES FABRICANTS ET DES ÉPROUVEURS D'ARMES, A L'APPUI DE LEURS DEMANDES DE POUDRES. — APPOSITION D'UNE MARQUE DISTINCTIVE SUR LES EMBALLAGES DE POUDRES DESTINÉES A L'EXPORTATION. — (DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES, Lettre commune n° 29 du 28 mars 1892)..... *41

N° 158. — APPAREILS DE SUSPENSION DES MEULES (Lettre collective n° 8). *44

N° 159. — MISE EN VENTE DE NOUVELLES POUDRES DE CHASSE PYROXYLÉES (Lettre collective n° 9)..... *47

TABLE ALPHABÉTIQUE.

(On a marqué en **caractères gras** les noms d'auteurs, en PETITES CAPITALES les titres des articles et documents, en *italiques* toutes les autres indications.)

Accidents : statistique, *34.
Algérie : prix de vente des cartouches comprimées, *10, *33.
APPAREILS DE SUSPENSION DES MEULES : *44.
ARRÊTÉ DU 23 JANVIER 1892, FIXANT LES PRIX DE VENTE DES POUDRES A FEU DESTINÉES A L'EXPORTATION : *35.

Barral : Emploi des poudres de chasse pyroxylées type J, 194.
Bertrand et Laroche : Température développée dans les armes par le tir, 224.

Cartouches de poudre de mine comprimée : prix de vente en Algérie, *10, *33.
Chasse (*Poudres de*) : v. Pyroxylées (Poudres de chasse).
Commission des substances explosives : Compte rendu des travaux (1892), 211.
Comprimées (*Cartouches*) : *10, *33.
COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE LA COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES PENDANT L'ANNEE 1892 : 211.
CONDITIONS DE RÉCEPTION DU COTON-POUDRE FABRIQUÉ POUR LE DÉPARTEMENT DE LA MARINE : *15.
Coton-poudre : Conditions de réception (Instruction du 4 novembre 1891), *16.
Cundill (J.-P.) : Dictionnaire des explosifs (suite et fin), 7.

DÉCRET DU 25 NOVEMBRE 1891, QUI FIXE LE PRIX DE VENTE, EN ALGÉRIE, DES CARTOUCHES DE POUDRE DE MINE COMPRIMÉE : *10.
Déshydratation du coton-poudre : 176.
DICTIONNAIRE DES EXPLOSIFS (suite et fin) [J.-P. Cundill] : 7.

EMBALLAGE DES POUDRES DESTINÉES A L'EXPORTATION : *41, *42.
EMPLOI DES POUDRES DE CHASSE PYROXYLÉES TYPE J [Barral] : 194.
Épreuve des armes (*Poudres pour l'*) : *41.
ÉTUDE SUR LE MODE DE COMBUSTION DES MATIÈRES EXPLOSIVES [Vieille] : 256.
EXPLOSIONS : usine à meules n° 3 de Saint-Ponce (1er juillet 1891), *3; — statistique, *34.
Exportation (*Poudres d'*) : prix de vente (1892), *35; — emballage, *41, *42.

Formules de balistique : 133.

INSTRUCTION DU 4 NOVEMBRE 1891 SUR LES CONDITIONS DE RÉCEPTION DU COTON-POUDRE FABRIQUÉ POUR LE DÉPARTEMENT DE LA MARINE : *16.

JUSTIFICATIONS A EXIGER DES FABRICANTS ET DES ÉPROUVEURS D'ARMES A L'APPUI DE LEURS DEMANDES DE POUDRES, APPOSITION D'UNE MARQUE DISTINCTIVE SUR LES EMBALLAGES DE POUDRES DESTINÉES A L'EXPORTATION : *41.

Laroche : v. Bertrand et Laroche.
Liouville (Roger) : Note sur quelques formules de balistique, 133; — Sur les vibrations élastiques des canons, 146, 245.

Messier : Note sur un procédé de déshydratation du coton-poudre, 176.
Meules (Usine à) : explosion, *3; — prescriptions relatives aux mécanismes ou à la charge, *11; — appareils de suspension, *44.
Mine (Poudres de) : cartouches comprimées, *10, *33.
MISE EN VENTE DE NOUVELLES POUDRES DE CHASSE PYROXYLÉES : *47.
MISE EN VENTE DES CARTOUCHES DE POUDRE DE MINE COMPRIMÉE EN ALGÉRIE : *33.
Mode de combustion des matières explosives : 256.

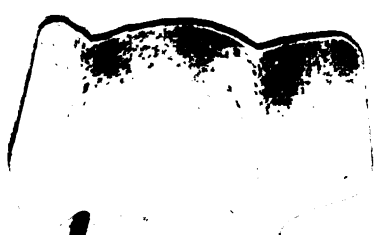
NOTE SUR QUELQUES FORMULES DE BALISTIQUE [Roger Liouville] : 133.
NOTE SUR UN PROCÉDÉ DE DÉSHYDRATATION DU COTON-POUDRE [Messier] : 176.

PRESCRIPTIONS RELATIVES AUX MÉCANISMES OU A LA CHARGE DES USINES A MEULES : *11.
Prix de vente : cartouches de poudre de mine comprimée, en Algérie, *10, *33; — poudres d'exportation (1892), *35.
Pyroxylées (Poudres de chasse) : emploi des poudres du type J, 194; — mise en vente de nouveaux types, *47.

Saint-Ponce : explosion, *3.
STATISTIQUE DES ACCIDENTS : *34.
SUR LES VIBRATIONS ÉLASTIQUES DES CANONS [Roger Liouville] : 146, 245.
Suspension (Appareils de) : meules, *44.

TEMPÉRATURE DÉVELOPPÉE DANS LES ARMES PAR LE TIR [Bertrand et Laroche] : 224.

Vente : v. Mise en vente, Prix de vente.
Vibrations élastiques des canons : 146, 245.
Vieille : Étude sur le mode de combustion des matières explosives, 256.

19765 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.

6 351
Fr.
25.